

IMPLEMENTACIÓN DE ROZADORAS EN TAJOS DE BAJA POTENCIA,
UNIMINAS S.A., MUNICIPIO DE GUACHETÁ, CUNDINAMARCA.

EDGAR CEDIEL PÉREZ ALARCÓN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
SEDE FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS

SOGAMOSO

2014

IMPLEMENTACIÓN DE ROZADORAS EN TAJOS DE BAJA POTENCIA,
UNIMINAS S.A., MUNICIPIO DE GUACHETÁ, CUNDINAMARCA.

EDGAR CEDIEL PÉREZ ALARCÓN

Propuesta presentada como requisito para optar al título de Ingeniero de Minas,
en la modalidad monografía

DIRECTOR.
DAVID FERNANDO JAIMES MOJICA.
Ing. de Minas. Gerente de producción UNIMINAS S.A.

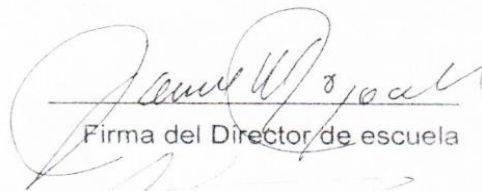
CODIRECTOR.
EDGAR OMAR PARRA LEGUÍZAMO.
ING. DE MINAS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
SEDE FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA INGENIERÍA DE MINAS
SOGAMOSO

NOVIEMBRE

2014.

Nota de Aceptación:



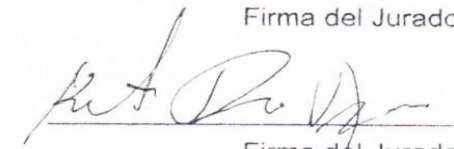
Firma del Director de escuela



Firma del Director del Proyecto



Firma del Jurado



Firma del Jurado

Sogamoso, Octubre de 2014.

AGRADECIMIENTOS.

Doy gracias a Dios por cumplir con una meta y un objetivo más en mi vida, lleno de tropiezos y adversidades. Agradezco infinitamente a la empresa a MILPA S.A en cabeza de Don Miguel Parra y sus hijos Miguel, Marta y en especial al Ing Carlos Parra, a *UNIMINAS S.A.*, a su gerente general Ing. William Guevara y todo el departamento técnico de esta empresa, pero muy sinceramente al ingeniero Nelson Aparicio y al Ingeniero David Fernando Jaimes Mojica, quién desde un inicio me otorgó su voto de confianza, creyendo en mis capacidades profesionales, instruyéndome, guiándome y enfocándome como profesional, siendo un gran amigo y consejero, haciéndome sentir no como estudiante sino como profesional en el campo de la ingeniería de minas, a su vez agradezco a la infinita ayuda de al ingeniera Sonia Ordúz y la doctora Consuelo Ruiz.

Este paso de mi vida se lo agradezco también a todas aquellas que siempre han creído en mí, pero desde el fondo de mi corazón se lo dedico a todos aquellos que nunca lo han hecho ya que con sus ofensas e ínfulas de grandeza pretendiendo saberlo todo, me han convertido en mejor persona y profesional que ellos mismos.

DEDICATORIA.

Cada vez que un sueño, una meta o un logro es alcanzado y superado por cualquier persona surgen en nuestra memoria aquellas personas que nos han incentivado a progresar a surgir y a salir adelante con la cabeza siempre en alto, es por esto que este proyecto lo dedico infinitamente y sin encontrar una palabra más elocuente porque no existe con todo el agradecimiento del mundo a mis padres **FERNANDO Y MARLEN**, quienes me han dejado la mejor herencia que un padre puede dejar a un hijo, *el estudio*. Me dieron la vida y me otorgaron los mejores años de su vida sacrificando lujos, tiempo ayudándome en mis proyectos y estudios, sacrificaron comodidades que debían ser para ellos por el fruto de sus esfuerzos, la recompensa a tan gran sacrificio por parte de ambos hoy día es darles el orgullo de decir que su hijo se ha graduado como ingeniero de minas y nada mas que de Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Sede Facultad Seccional Sogamoso.

A su vez este triunfo se lo dedico a mi amada esposa **SONIA** y a mi hijo **DANIEL**, quienes con su amor se convirtieron en mi gran impulso para culminar mis estudios y demostrar al mundo que si se puede. A mis abuelitas Carmen y Aura este es el premio tan esperado, a mis hermanos Fernando, Camilo, Karen y Danilo, que siempre me impulsaron y me ven como el ejemplo para ellos seguir adelante a pesar de los errores cometidos. Por último a todos mis tíos y tías gracias por confiar.

Papá mil y mil gracias por encaminarme y enseñarme el grandioso y maravilloso mundo de la minería y gracias por hacer de mi un hombre y un profesional integro, metódico en la toma de decisiones.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
OBJETIVOS	
GENERAL	
ESPECÍFICOS	
RESÚMEN	
INTRODUCCIÓN	
1. GENERALIDADES	1
1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	1
1.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN	1
1.3 FISIOGRAFÍA	1
1.3.1 Hidrografía	3
1.3.2 Vegetación	4
1.3.3 Clima	4
1.4 SITUACIÓN JURÍDICA	4
1.5 SITUACIÓN ACTUAL DE LA MINA	4
2. GEOLOGÍA	7
2.1 GEOMORFOLOGÍA	7
2.2 GEOLOGÍA REGIONAL	7
2.2.1 Rocas Cretácicas	8
2.2.2 Rocas Cretácico-Terciarias	9
2.3 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	10
2.4 BLOQUES Y MANTOS EXPLOTABLES	12
3. PLANEAMIENTO MINERO DE LA MINA	15
3.1 LABORES DE DESARROLLO Y PREPARACIÓN	15
3.1.1 Labores de desarrollo	15
3.1.2 Labores de preparación	18
3.2 MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN	18
3.2.1 Método de explotación por tajo	18
3.2.2 Método de explotación por ensanche de diagonales	19
4. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN CON ROZADORA EN TAJOS	20
4.1 CARACTERÍSTICAS Y SELECCIÓN DEL EQUIPO	20
4.2 EXPLOTACIÓN Y PRODUCCIÓN	28
4.2.1 Método de explotación por tajo	28
4.2.2 Producción	29
4.3 TIRA	31
4.4 POSTEO	41
4.5 TRATAMIENTO AL POST-TALLER	42
4.6 PERSONAL	43
4.7 RENDIMIENTOS	44
4.8 CICLOS DE TRANSPORTE	45
4.9 VENTILACIÓN	46

4.10 ELECTRICIDAD Y SUMINISTRO DE AGUA	48
4.11 SEGURIDAD DEL TAJO Y DEL PERSONAL	55
4.12 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS NIVELES (CABECERA E INFERIOR) Y EL TAJO	56
CONCLUSIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	63

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro1. Disposición de turnos	5
Cuadro 2. Características de resistencia de la roca	16
Cuadro 3. Tipos de máquinas y características principales	25
Cuadro 4. Replanteo para el diemnsionamiento geometrico del tajo	32
Cuadro 5. Coeficiente de calidad del techo a_1	35
Cuadro 6. Coeficiente de tratamiento del techo inmediato a_2	36
Cuadro 7. Coeficiente de autoapoyo del techo inmediato a_3	36
Cuadro 8. Constante de Terzaghi para cálculo de presión minera	38
Cuadro 9. Turnos de personal para la rozadora	43
Cuadro 10. Especificaciones ventilador WL-SIGMA	48

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Ubicación particular del proyecto mina Casablanca-mina La Mejía	3
Imagen 2. Minador AM-50	17
Imagen 3. Rozadora H-1	26
Imagen 4. Rozadora TEMP-1	26

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica contrato de concesión 2505, UNIMINAS S.A.	2
Figura 2. Dimensionamiento del tajo	31
Figura 3. Comportamiento de esfuerzos sobre el sostenimiento	35
Figura 4. Canoa	41

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Cofres de mando nivel cabecera	23
Fotografía 2. Controles de mando manual de la rozadora	24
Fotografía 3. Rozadora POISK-2	27
Fotografía 4. Winche eléctrico	29
Fotografía 5. Tecla de descargue de mineral	30
Fotografía 6. Canastas para sostenimiento	42
Fotografía 7. Instalación del cajón para tratamiento del post-taller	43
Fotografía 8. Ventilador principal a chorro ZITRÓN	47
Fotografía 9. Subestación de 500kVA en superficie	49
Fotografía 10. Caja de paso polaca y cable de tensión	50
Fotografía 11. Transformador polaco tipo MAR-PM de 400kVA	51
Fotografía 12. Cable y caja abscisa 70	52
Fotografía 13. Caja SOLDEX tipo NEMA 7, tercer nivel o nivel de cabecera	53
Fotografía 14. Cofre de la rozadora	53
Fotografía 15. Cabrestante de la rozadora	54
Fotografía 16. Bomba de 20Hp	55
Fotografía 17. Seguridad del trabajador con arnés	56
Fotografía 18. Comunicación por genefono al interior del tajo	57

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. PLANO GEOLOGICO REGIONAL

Anexo B. PERFILES GEOLÓGICOS

Anexo C. PLANO COLUMNA ESTRATIGRÁFICA BLOQUE SUR

Anexo D. PLANO GENERAL MINA TÚNEL CASABLANCA

Anexo E. ESQUEMA DE PERFORACIÓN NIVEL CISQUERA

Anexo F. CORTE PREPARACIÓN Y EXPLOTACIÓN MTO CISQUERA,
ROZADORA

Anexo G. PLANO DE VENTILACION MINA CASABLANCA-MEJÍA

OBJETIVOS

GENERAL

Mecanizar un tajo con rozadora sobre muro en mantos de baja potencia y buzamientos superiores a 45° en la empresa UNIMINAS S.A.- Grupo MILPA S.A.

ESPECÍFICOS.

- Describir la geología de la zona de estudio.
- Identificar el equipo y características del mismo para la mecanización de la mina.
- Realizar y hacer la descripción para labores de desarrollo y preparación necesarias para la implementación de la rozadora en la mina.
- Definir el tipo de sostenimiento a emplear en la explotación del tajo con rozadora teniendo en cuenta las características del manto.
- Analizar y describir la implementación del equipo teniendo en cuenta variables como electricidad, ventilación, transporte, entre otros factores que inciden en el funcionamiento del equipo.
- Plantear el tratamiento dado al espacio vacío o post-taller.
- Calcular rendimientos y personal necesario en el tajo.

RESUMEN.

La minería colombiana hoy en día a cambiado el concepto de explotación, empresas como el grupo MILPA S.A., empezaron a innovar e invertir en tecnologías que aumentan producción humanizan el trabajo del minero y aumentan las ganancias por explotación y beneficio.

En el presente proyecto se hace un análisis para la implementación de rozadoras sobre muros en tajos, en donde se consideran infinitas variables, entre las cuales se consideran la geología del yacimiento, el buzamiento, espesor del manto, condiciones geomecánicas, forma de extracción del mineral, electricidad, suministro de agua y energía, sostenimiento, tratamiento al post-taller o espacio vacío, entre muchas más. Se presentan planos en los cuales se plasma la concepción del desarrollo y preparación de la zona de trabajo. Este ambicioso proyecto, comunica a dos minas Casablanca y La Mejía con un buzamiento de 56°SE y una diferencia de cota de 120m.

En el desarrollo del proyecto, se contó con asesorías de ingenieros españoles, los cuales capacitaron tanto a ingenieros como trabajadores para la puesta en marcha de la rozadora y su funcionamiento al ciento por ciento.

INTRODUCCIÓN.

En el marco de la evolución y tecnificación minera en Colombia, surgen megaproyectos que impulsan y permitiendo el crecimiento de la economía nacional, catapultando la minería colombiana en el mercado internacional, convirtiendo al país en un atractivo de inversión y tecnificación.

Este es el caso del grupo empresarial Milpa S.A, que ha decidido dar un paso adelante en la tecnificación minera, invirtiendo en un megaproyecto con maquinaria de punta, que humaniza y dignifica la calidad laboral de las personas al interior de las minas, aumentando a su vez producción y utilidades.

Es así como en la mina Casablanca, se ha tomado un gran paso para la tecnificación y explotación minera del carbón implementando rozadoras sobre muro. La rozadora es una máquina que empezó a aparecer en los años cuarenta en Europa, en el afán de optimizar producción y tiempos de trabajo, las rozadoras son máquinas excavadoras destinadas para labores subterráneas que actúan mediante una cabeza armada de picas que tritura fragmentos pequeños de rocas o mineral. La mecanización con rozadoras aunque no es nueva en el mundo en Colombia se hace por primera vez, más aún el mérito radica en que se hace en mantos de carbón de baja potencia y fuertes buzamientos, sin embargo la calidad de estos hacen de este un proyecto rentable, que no solo permite la implementación de un equipo, sino que hace una implementación para tres equipos más, sin embargo el eje central del presente proyecto se enfatiza en la mecanización del manto cisquera, el resto de mecanización en otros mantos se realiza de manera similar.

1. GENERALIDADES.

1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

La empresa UNIMINAS S.A., que en la actualidad explota las minas CASABLANCA y LA MEJÍA, objetivos del proyecto de estudio, se localiza en el departamento de Cundinamarca, a 115km al noreste de la ciudad de Bogotá, en el municipio de Guachetá en la vereda el Santuario a 9 km al sureste de la cabecera municipal, como se muestra en las imágenes 1 y 2, se encuentra operando bajo el ***contrato único de concesión 2505*** con un área total de 807 Ha y 3370m², a una altura de 2561m.s.n.m.

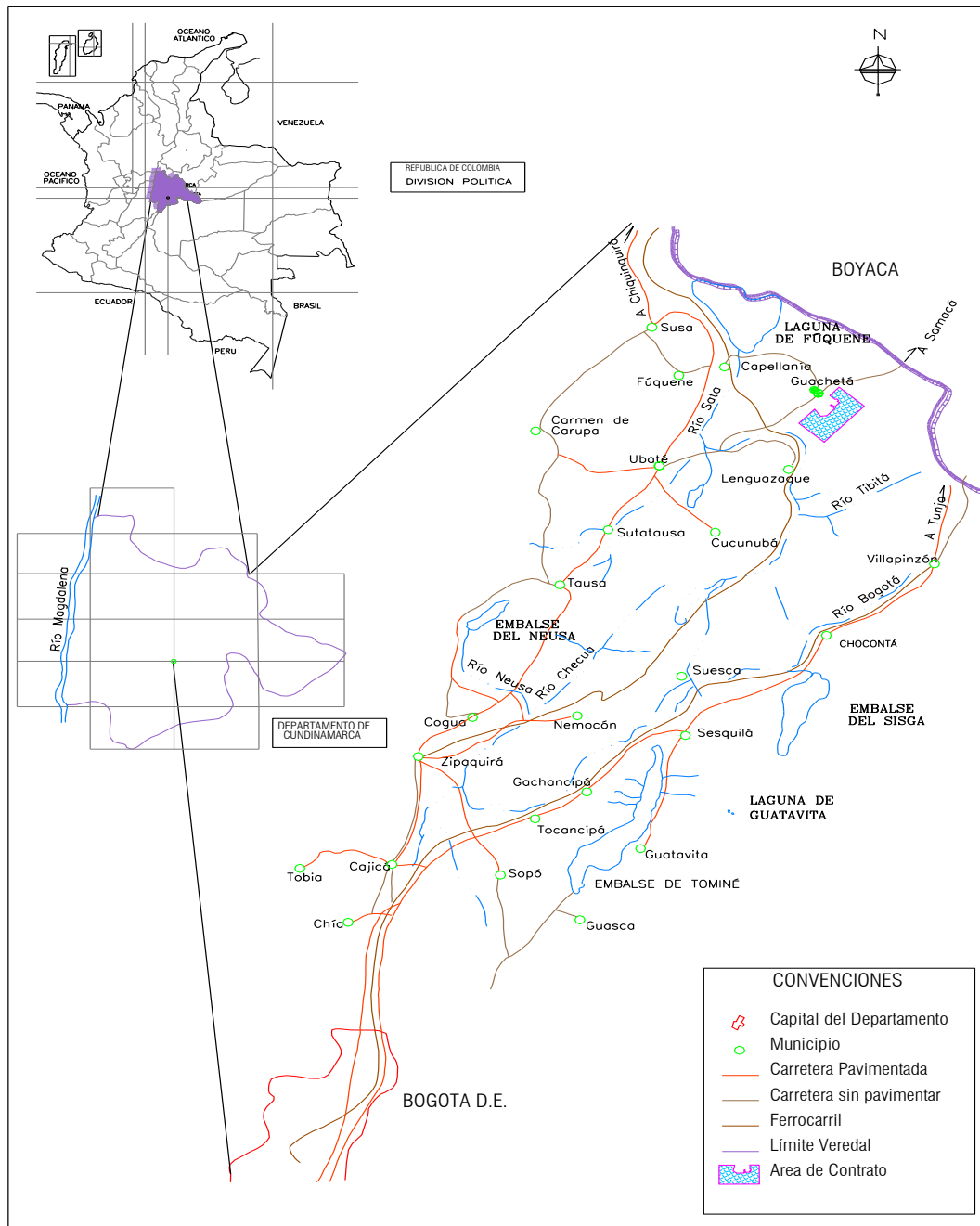
1.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN.

El acceso a la mina Casablanca se hace por varios puntos, de esta forma se accede por la carretera que conduce del municipio de Ubaté hacia Lenguazaque (suroeste de la mina), también se puede hacer por la vía que de Ubaté y Samacá (Boyacá) conducen al municipio de Guachetá por el noroeste de la mina (ver figura e imagen 1). Las vías se encuentran en regular estado con pocos tramos pavimentados, la mayor parte del camino es destapado.

1.3 FISIOGRAFÍA.

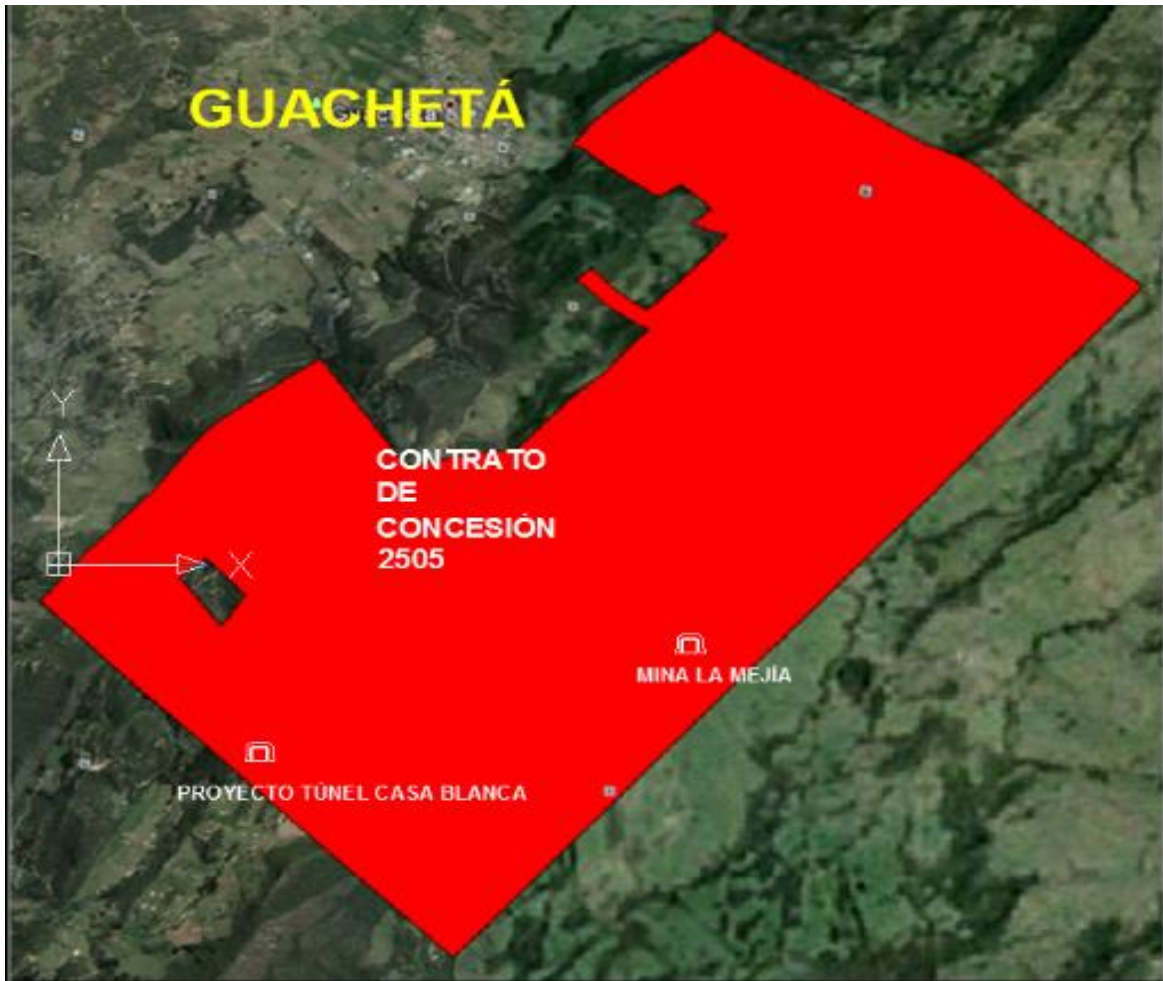
El área del proyecto se encuentra en la cordillera Oriental, la morfología en la parte baja está representada por una zona de ladera, producto de los factores erosivos, ejercidos principalmente por las quebradas de tipo intermitente que riegan la zona y que corren sobre rocas blandas, de la formación guaduas como son las arcillolitas, en las zonas altas son frecuentes las zonas escarpadas compuestas por areniscas.

Figura 1. Localización geográfica contrato de concesión 2505, UNIMINAS S.A.



Fuente. Departamento de Planeamiento, UNIMINAS S.A.

Imágen 2. Ubicación Particular del proyecto mina Casablanca-mina la Mejía.



Fuente. Departamento de Planeamiento, UNIMINAS S.A.

La formación Guaduas ofrece un paisaje caracterizado por laderas amplias y uniformes, disectadas por numerosos cursos de quebradas, zanjones y cárcavas; también es frecuente la presencia de espinazos y lomas conformados por rocas más duras, los cuales sobresalen notoriamente en forma de fajas alargadas.

1.3.1 Hidrografía. La red hidrográfica de la región se enmarca dentro de la cuenca del río Bogotá, al cual vierten sus aguas numerosos ríos de la región; en el área de Guachetá el principal curso de agua es el río Sata, en donde desembocan las quebradas de la región, estando entre ellas las quebradas Gualacacia y La quebrada Guayaneque o Mana del Padre.

1.3.2 Vegetación. La vegetación típica está representada por especies nativas como el Aliso, Altamisa, Motua, Cardón, Mortiño, rastrojo etc., en las partes más altas; además algunas zonas reforestadas con especies maderables como eucaliptos y pinos. El principal uso del suelo es la minería seguido de la agricultura y la ganadería en menor escala.

1.3.3 Clima. En el área del contrato predominan temperaturas entre 5 y 14° centígrados, se presenta una precipitación anual entre 500 y 800mm (IGAC 1996), existen dos periodos lluviosos sobresalientes de acuerdo a las estaciones que se presentan anualmente, una en el primer semestre (Abril–Mayo) y otra en el segundo semestre (Octubre–Noviembre), aunque últimamente el factor climático se ha visto alterado por factores externos.

1.4 SITUACIÓN JURÍDICA.

El contrato único de concesión en el que se ampara la mina Casablanca es el 2505, con un área total de 807Ha y 3370m², actualmente la empresa Uniminas S.A., bajo este contrato de concesión posee algunos contratos de operaciones con 20 asociados distribuidos en toda la zona de concesión. Dentro del contrato se encuentran 28 bocaminas, incluidos 5 proyectos directos manejados por la empresa que son Túnel Casablanca, Mina la Mejía, Mina Bocatoma, Mina La Quinta y Mina La Mana. A las 23 bocaminas restantes la empresa les presta servicios de asesorías técnicas, jurídicas, en seguridad minera, colaboración en semi-mecanización y mecanización, entre otros beneficios que da la empresa.

1.5 SITUACIÓN ACTUAL DE LA MINA.

La mina Casablanca, conocida también como túnel Casablanca, explota carbón (bajo volátil), en los siguientes mantos Cisquera, Bolas (Norte y Sur), Gemela, Quinta, Tercera, Pedro (Sur, Norte y un Subnivel norte y sur), Aliso, Tesoro, Milagro y Rubí con espesores que oscilan entre 0.45m hasta 1,20m y el zuncho explotable de 0,45m a 0,8m de Cisquera.

La mina cuenta para su explotación con labores de desarrollo con un principal a nivel (horizontal) de 1,2km, este se comunica con la cruzada 0, la cual tiene una longitud de 200m en el rumbo desde esta cruzada se dividen los niveles y subniveles hacia cada manto. En las labores de preparación se marcan diagonales chimeneas cada 15m uno del otro y avanzados sobre el buzamiento del manto, posteriormente se comunican con otros diagonales llamados salideros, formando de esta manera ventanas o capillas.

El método de explotación empleado es el de ensanche de tambores, tajo largo para las rozadoras y posteriormente se implementará el método de explotación por tajo corto con testers. La forma de avance de las labores de desarrollo es en el sentido del rumbo para comunicarse con otras diagonales y en el sentido del buzamiento y de manera ascendente para comunicar el nivel inferior túnel Casablanca, con el nivel superior mina La Mejía.

La mina cuenta con un lote de cinco (5) locomotoras, de las cuales cuatro (4) son T80 para transporte de mineral y una (1) T50, para transporte de suministros y de personal. Posee un lote de 90 vagonetas de 1,2 y 2,2 toneladas de carga. Se extraen en promedio 410 ton/día, esto en los tres turnos para una producción mensual aproximada de 9,000ton, más la producción suministrada por las minas explotadas por los asociados. La mina trabaja con tres turnos (ver cuadro 1).

El personal existente actual es de 282 trabajadores incluidos los trabajadores administrativos como lo son: Ingenieros (as), Secretarias, Contadores, Técnicos (as), Médico, esto solo en la mina Casablanca.

Cuadro 1. Disposición de turnos.

TURNO	HORA	ACTIVIDAD
A	7:00am – 3:00 pm	Producción
B	3:00pm – 11:00 pm	Producción y desarrollo
C	11:00pm – 7:00 pm	Fortificación y Adecuación de Frentes
TURNOS ESPECIALES ROZADORA		
A1	5:00am-12:00pm	Rozar
B1	12:00pm-4:00pm	Tira (suministro de madera para el tajo)
B2	4:00pm-11pm	Posteo
C	11pm-5:00am	Relleno del cajón

Fuente: Datos de estudio.

2. GEOLOGÍA.

2.1 GEOMORFOLOGÍA.

Las diferencias de pendiente en la topografía están relacionadas con los cambios en la litología que influyen en los patrones de drenaje, vegetación, zonas de vida, procesos erosivos, etc.; todos estos factores inciden de una u otra forma para que se presenten sobre la superficie terrestre expresiones de relieve variadas y que contrastan de un lugar a otro, cada una de las cuales posee características propias. El paisaje geomorfológico que ofrece el área de la mina corresponde a una unidad de montaña estructural plegada, de las formaciones Guadalupe y Guaduas, en estas se pueden apreciar otras sub-unidades como son laderas largas y empinadas, cerros redondeados, lomas, colinas y el valle amplio.

2.2 GEOLOGÍA REGIONAL.

El área correspondiente al Contrato único de concesión 2505, se encuentra enmarcado dentro del sinclinal de Checua–Lenguazaque, más exactamente en el flanco occidental del sinclinal, las rocas en este flanco se caracterizan por presentar buzamientos fuertes superiores a los 50°SE, que se mantienen constantes por largos trayectos, así mismo la dirección de las diferentes unidades estratigráficas se mantienen constantes, teniendo un rumbo promedio de N40°-50°E. La estratigrafía del área de concesión corresponde a las rocas aflorantes de origen sedimentario estas rocas pertenecen en gran parte al grupo Guadalupe con sus miembros Plaeners y Arenisca de Labor y Tierna, cuya litología está conformada principalmente por limolitas, liditas arcillolitas y paquetes de areniscas compactas que forman cuchillas largas y pronunciadas; a la formación Guaduas con sus cinco niveles, constituidos principalmente por arcillolitas y limolitas intercaladas con algunos paquetes de areniscas de aspecto

lajoso y mantos de carbón económicamente explotables, los cuales se reportan en los niveles 2, 3 y en algunas partes en el nivel 4 (ver plano 1).

Como se ha mencionado la continuidad lateral como en profundidad para los mantos en este sector del sinclinal es regular, solo se presentan algunas variaciones en los espesores de los mantos por adelgazamientos “pinchamientos” o engrosamientos que han sufrido estos por efectos de la sedimentación inicial. La columna estratigráfica levantada en los diferentes afloramientos, trabajos mineros e información de los mineros, muestra 25 niveles de carbón, entre mantos y zunchos, en los tres niveles productivos de la formación Guaduas (Ktg2, Ktg3, Ktg4). A partir de esta información de campo y correlación se pudo establecer aproximadamente las trazas de los diferentes niveles carboníferos y calcular las reservas geológicas para esta área.

2.2.1 Rocas Cretácicas

-Formación Conejo (Kscn): La formación Conejo, en el área de Simijaca tiene un espesor de 1270 metros y está constituida en su parte inferior por lutitas grises oscuras a negras, con delgadas intercalaciones de limolitas micáceas ferruginosas y areniscas arcillosas, en ocasiones cuarzosas, de grano fino a medio, blancas y rojizo—amarillentas, estratificadas en pequeños bancos, con niveles fosilíferos; la parte media consta de lutitas grises oscuras o negras, con intercalaciones de areniscas arcillosas, de grano fino, grises oscuras, con frecuentes concreciones arcillosas y ferruginosas, que se presentan hacia su parte inferior y superior. El techo de la formación es una alternancia de areniscas arcillosas, de grano fino a medio, arcillolitas y lutitas grises oscuras, amarillentas, con moscovita en los planos de estratificación

-Grupo Guadalupe (Ksg): Ujueta (1962) incluyó dentro del grupo Guadalupe las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca de Labor y la Arenisca Tierna. En las áreas evaluadas aflora principalmente la secuencia correspondiente a la formación Arenisca Tierna, con un espesor de 80 a 90 metros y está compuesta por arenitas cuarzosas friables, de color gris, de grano medio a grueso, con contactos netos y planos; presenta bioturbación y estratificación gruesa y se

caracteriza por presentar una topografía abrupta y escarpes de alta pendiente. Las fuertes condiciones topográficas de la parte superior de la formación Guadalupe se conservan a lo largo y ancho de las diferentes estructuras y sirven de guía para la identificación de la base de la formación Guaduas. El espesor promedio de todo el grupo es de 550 metros.

2.2.2 Rocas Cretácico-Terciarias

-Formación Guaduas (KTg): Esta formación fue descrita originalmente por Hettner en 1982 (en Pérez y Salazar, 1987) y redefinida por Hubach (1957) como la formación que contenía los carbones al norte de Bogotá, el mismo autor propone una nueva localidad y la ubica en los boquerones de Lenguaque y Samacá tomando como límite estratigráfico superior la formación Cacho y el inferior la formación Arenisca Tierna del grupo Guadalupe. Inicialmente la formación Guaduas fue dividida en los conjuntos inferior, medio y superior. En el área del sinclinal de Checua-Lenguaque, Nigrinis (1975) la subdivide en cinco niveles denominados KTg1, KTg2, KTg3, KTg4 y KTg5. La división de Nigrinis se utilizó durante el presente estudio. A continuación se nombran los subniveles KTg2, KTg3 y KTg4, que son los de interés económico.

-Nivel KTg2: Este nivel se considera el de mayor importancia por ser el que contiene los carbones de más alto rango y del cual se producen los mejores coques de la zona. Estratigráficamente está constituido hacia la base por una secuencia de arenitas de grano muy fino con intercalaciones de limolitas lodosas, hacia la parte media superior por una alternancia de arenitas y lodolitas, la parte superior presenta una secuencia limosa a arenítica hacia el tope. En este nivel se reconocen hasta 20 capas de carbón con espesores superiores a 0,5 metros, de las cuales 10 presentan espesores mayores de 0,6 metros. Este nivel también se denomina como “Arenisca de la Guía”, se encuentra en contacto transicional con el nivel KTg1 e infrayace normalmente los estratos del nivel KTg3. Su espesor varía entre 140 a 300 metros. Como límites inferior y superior se consideran la primera y última arenita de la arenisca de la guía.

-Nivel KTg3: Está constituido básicamente por lodolitas y limolitas lodosas de color pardo con láminas arcillolíticas lenticulares muy delgadas y mantos de carbón, hacia la parte media se encuentran concreciones de siderita. Es el segundo nivel de importancia económica dentro de la formación Guaduas, debido a que presenta hasta 5 mantos de carbón ubicados hacia la base y techo del nivel cerca al contacto con los niveles KTg2 y KTg4. Presenta un contacto transicional en la base con el nivel KTg2 y erosivo con las arenitas inferiores del nivel KTg4, su espesor varía entre 200 y 550 metros.

-Nivel KTg4: Se caracteriza regionalmente por originar un relieve positivo, donde sobresalen en promedio hasta 7 subniveles de arenitas de color blanco amarillento, de aproximadamente 15 metros de espesor, intercaladas entre estos subniveles se presentan limolitas lodosas y lodolitas de color gris claro. En este nivel ocasionalmente se encuentran capas de carbón de interés económico de hasta de 0,7 metros de espesor. El límite estratigráfico con el nivel KTg3 es erosivo y el superior con el nivel KTg5 es transicional. Su espesor varía entre 200 y 300 metros. Se presentan a su vez afloramientos de rocas terciarias de las formaciones Bogotá y Regadera que se mencionan a continuación.

-Formación Bogotá (Tb): Suprayace a la Formación Cacho formando un relieve ondulado bajo por su composición arcillosa. Constituida por arcillolitas abigarradas e intercalaciones lenticulares de arenitas arcillosas de grano fino a medio de color amarillo. Tiene un espesor promedio de 800 metros.

-Formación Regadera (Tr): Esta Unidad fue considerada inicialmente por Hubach, como el miembro basal de la formación Usme, posteriormente Julivert le dio categoría de formación, aflora en el núcleo del sinclinal de Guachetá, compuesta por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, localmente conglomeráticas, con intercalaciones de arcillolitas pardo-claras, su espesor se estima en 160m.

2.3 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

El área correspondiente al contrato único de concesión 2505, se encuentra enmarcado dentro del sinclinal de Checua–Lenguazaque (ver plano 2), más exactamente en el flanco occidental del sinclinal, las rocas en este flanco se

caracterizan por presentar buzamientos fuertes superiores a los 50°SE, que se mantienen constantes por largos trayectos, así mismo la dirección de las diferentes unidades estratigráficas se mantienen constantes, teniendo un rumbo promedio de N40°-50°E.

Tectónica. El área de estudio, está enmarcada dentro de la tectónica regional de la cordillera oriental, la cual ha sido sometida a diversos procesos de distensión y relajación durante largos períodos de tiempo. Para el área de interés, como se ha mencionado anteriormente, se tiene como principal región estructural el sinclinal de Checua–Lenguazaque, estando ubicada el área de contrato en el flanco occidental. Tectónicamente el área de contrato muestra una apreciable homogeneidad estructural y la continuidad tanto de las diversas unidades estratigráficas como de los mantos de carbón de interés económico es bastante estable, salvo algunas fallas de carácter local hacen que los mantos sufran interrupción en su continuidad tanto lateral como en profundidad. Las fallas más relevantes son:

Falla Ojo de Agua: Falla de desplazamiento dextral ubicada hacia la parte sur del área de contrato es una falla cuyo desplazamiento se ha estimado en unos 70m, esta falla afecta principalmente los mantos más inferiores de la secuencia carbonífera, su dirección es SW-NE, aunque en superficie no es muy evidente su efecto, en profundidad en algunas labores mineras se ha detectado como es el caso de la Mina la Mejía.

Falla El Reposo: Falla de rumbo, con desplazamiento siniestral, ubicada hacia la parte central del área de contrato, es una falla con rumbo SE-NW, disloca la continuidad de todos los mantos de la secuencia carbonífera, pero para el área de contrato del presente estudio solo se ven afectados los mantos más superiores, ya que los inferiores en este sector se encuentran fuera del área de contrato.

Otras fallas de menor magnitud es común encontrar, pero que solo se detectan en profundidad por las labores mineras.

2.4 BLOQUES Y MANTOS EXPLOTABLES.

Para la formación Guaduas los mantos de carbón económicamente explotables se reportan en los niveles 2 y 3, aunque también se hallan en algunas partes en el nivel 4. Según normas establecidas por ECOCARBÓN LTDA. (1995), se considera como manto de carbón aquella capa que sobrepase los 0,40cm de espesor, las capas con espesores menores se consideran como cintas; sin embargo para el sector, debido al comportamiento estructural que tienen los mantos (buzamiento superior de 50°) y la alta calidad de estos carbones (bajos volátiles) se han, catalogado como mantos aquellas capas inferiores del espesor sugerido por ECOCARBÓN LTDA., además para otras cintas que acompañan generalmente estos mantos se les denomina “zunchos”, los cuales también se han venido explotando en la actualidad, con promedios en su espesor de 0,35m. Por tanto la secuencia total carbonífera muestra mantos con espesores que oscilan entre los 0,40m y los 2,0m. Un bloque carbonífero se define como la superficie mínima subyacente por mantos de carbón individualizada por medio de combinación de datos estratigráficos, estructurales o geográficos, de tal forma que en la exploración y en la explotación se pueda considerar como una unidad.

Para el caso particular del Contrato único de concesión 2505, según aspectos tectónicos y delimitación del área de contrato se pueden establecer dos bloques bien definidos; bloque sur, el cual comprende toda la parte sur del área de contrato hasta la falla El Reposo y el bloque Norte o bloque La Mana, que es la continuación hacia el norte desde la falla El Reposo. Desde el punto vista minero y para lograr una explotación racional que involucre la totalidad del área concesionada se han definido seis bloques mineros, los cuales integran bocaminas antiguas y que se han decidido rehabilitar, conjugadas con nuevos proyectos mineros.

La columna estratigráfica (ver plano 3) levantada en los diferentes afloramientos trabajos mineros muestran 25 niveles de carbón entre mantos y zunchos, en los tres niveles productivos de la formación Guaduas pero solo se destacarán los mantos y zunchos explotados en la mina actualmente, sabiendo que estos son

carbones bajos volátiles. A continuación se hace la descripción desde base a techo.

Manto Cisquera: Es el primer manto de la serie, tiene un espesor promedio entre 0,80 y 1,20m, se ha explotado parcialmente en varios sectores.

Zuncho de Cisquera: Es una cinta de 0,40 a 0,50m de espesor, separado del anterior entre 4 a 7m.

Manto Tesoro: Separado del anterior entre 10 y 15m, tiene un espesor promedio de 0,40 a 0,70m.

Manto Milagro: Separado del manto tesoro entre 3,0 a 7,0m, los respaldos están constituidos por arcillolitas limosas grises, su espesor oscila entre 0,30 y 0,90m.

Manto el Aliso: Separado estratigráficamente del anterior entre 12 y 15m, es un manto con un espesor promedio entre 0,40 y 0,70m, sus respaldos están constituidos por arcillolitas carbonosas grises.

Manto Gemela: Manto de carbón separado estratigráficamente del manto Planta de Soda entre 10 y 20m, el espesor de este manto oscila entre 0,60 y 1,10m, presenta una pequeña intercalación de roca de 0,10m, es un manto que se ha explotado ampliamente en los dos bloques.

Manto Quintas: Manto separado del manto Consuelo por unos 20m de roca, presenta un espesor variable desde 0,20m hasta 0,50m, y en algunos sectores se pincha hasta casi desaparecer.

Manto Cuartas: Manto separado del anterior entre 12 y 14m, con un espesor inferior a los 0,40m, no se tienen trabajos sobre este manto en ningún bloque.

Manto Tercera: Manto separado de Cuartas entre 12 a 16m, es un manto con un espesor promedio de 0,50m, se ha explotado parcialmente en el bloque sur, en la mina la Mejía.

Manto Bolas: Está separado del manto Tercera en una distancia estratigráfica de 20 a 30m, tiene un espesor promedio de 0,80m, y se ha explotado ampliamente en los dos bloques, sus respaldos están conformados por limolitas arcillosas grises algo compactas.

Manto Pedro: Manto separado del manto Bolas entre 12 y 15m, presenta un espesor promedio menor de 1,0m, ha sido explotado ampliamente en los dos bloques.

Manto Rubí: Se encuentra suprayaciendo al manto Pedro en un espesor estratigráfico de 12 a 15m, su espesor promedio es variable pero en promedio está en 0,8m, este manto se ha explotado intensamente en los dos bloques.

3. PLANEAMIENTO MINERO DE LA MINA.

3.1 LABORES DE DESARROLLO Y PREPARACIÓN.

En la ejecución de todo proyecto minero es necesario considerar que este debe tener un planeamiento acerca de la forma en ¿cómo deberá llevarse o construir la mina que se piensa explotar?, esto de acuerdo a factores como el tipo de mineral, buzamiento, espesor, respaldos, capacidad económica de inversión y de endeudamiento de la(s) persona(s) o empresa(as) que explotará(n) dicha mina.

Para el caso particular de la mina Casablanca se hará una descripción generalizada de las labores de desarrollo, preparación y explotación que se hacen normalmente para el funcionamiento óptimo de la mina.

3.1.1 Labores de desarrollo. Las labores de desarrollo son labores que atraviesan o dividen el yacimiento, estas se hacen a través de inclinados, transversales, niveles, galerías, guías, etc. Es así como se hace la división del yacimiento de carbón bajo volátil de la mina Casablanca, esto a través de sus 12 estructuras que incluyen mantos y zunchos. De esta manera el acceso al yacimiento se realizó en roca con un azimut de $52^{\circ}44'55''$ (rumbo N52°E), con una longitud de 1280m y una sección de $13,6\text{m}^2$ (ver plano 4), el acceso hasta esta abscisa se realizó con un minador AM-50 (Ver imagen 2) junto con perforación y voladuras debido a características de resistencia de la roca (ver cuadro 2).

El minador corta rocas de hasta 60Mpa de resistencia al corte máximo, en algunas zonas donde se utilizó voladura la roca llegaba a valores de resistencia de 120Mpa. En las voladuras se realizaban avances de 2,40m por voladura, mientras que con el minador en condiciones óptimas para el equipo, es decir, con rocas de resistencia de 40Mpa hasta 55Mpa, se lograron avances de hasta 8m en el turno.

Las labores de desarrollo se realizan en tres turnos así:

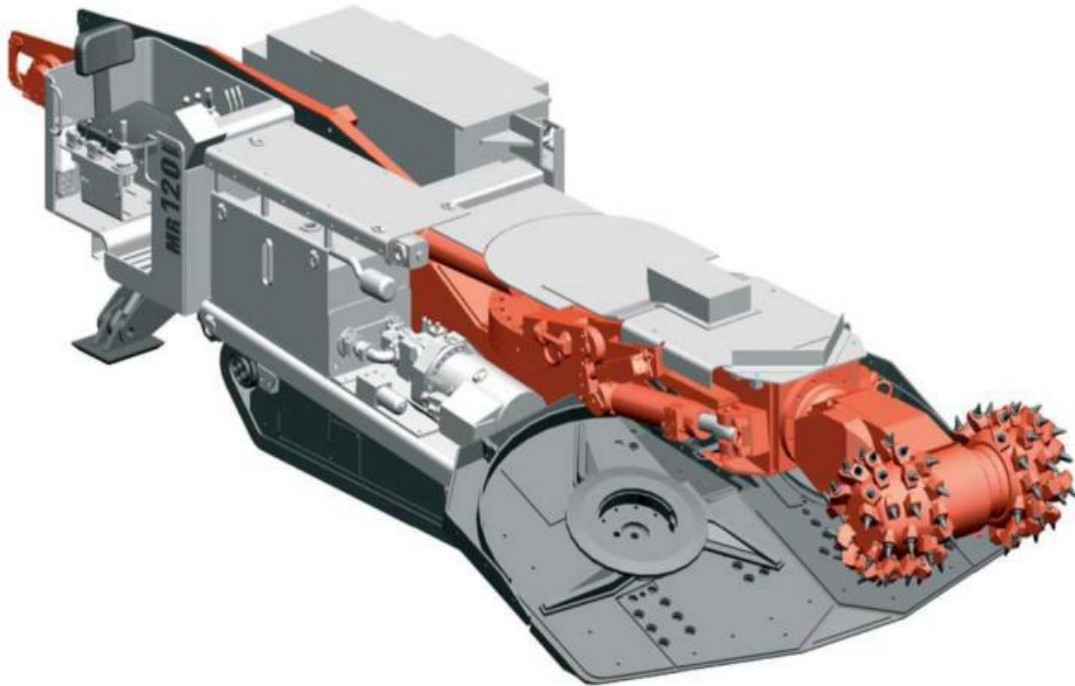
- 7:00 am - 3:00 pm Fortificación.
- 3:00 pm – 11:00 pm Perforación, las voladuras se realizan simultáneamente a las 10:30 pm.
- 11:00 pm – 7:00 am Descargue, el cual incluye el desabombe de la zona volada.

Cuadro 2. Características de resistencia de la roca.

	VALOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
R_{csr}	10	MPa	Resistencia media mínima de las rocas a la presión en la galería
H	300-1200	m	Profundidad de la galería
α	0-35	°	Ángulo de inclinación de la galería
H_s	0,5-1,0		Coefficiente de resistencia físico y mecánico de las rocas a la humedad
E_w	0,5*10⁶	J	Energía sísmica máxima en la región de la galería.
S_w	7,5	m	Anchura máxima de la galería en la boca

Fuente: UniMinas S.A.

Imágen 2. Minador AM-50, de eje transversal (ripping)



Fuente: UniMinas S.A..

Posteriormente a la construcción del túnel principal hasta la abscisa 1280 como ya se mencionó se trazó una cruzada a 90° con un azimuth de $90^\circ 46'55''$ (rumbo S89°E), esta cruzada atraviesa y corta los mantos Cisquera, Bolas (Norte y Sur), Gemela, Quinta, Tercera, Pedro (Sur, Norte), Aliso, Tesoro, Milagro y Rubí con una longitud de 200m, para un total de 1400m en el túnel principal. (Ver plano 4). Luego se trazan los niveles de transporte por el rumbo, para tener accesos a cada manto y/o zuncho, esto se hace con perforaciones y voladuras que tienen un avance variable de 0,80m hasta 2,40m, el diseño de los esquemas de perforación se muestran en el plano 5, es de destacar que estos diseños de perforación pueden variar de acuerdo a las condiciones del macizo.

3.1.2 Labores de preparación. Estas labores dividen el yacimiento y comunican las labores de desarrollo (niveles, galerías, etc.), en la mina Casablanca, estas labores de comunicación consisten en tambores, diagonales. La construcción de las labores se hace a través de la marcación de tambores cada 12m–15m estos se suben cada 10m (machón de protección) y posteriormente se construyen las diagonales sobre el buzamiento del manto con una cuelga (diferencia de altura) de 80m hasta 120m aproximadamente y posteriormente se comunican estas diagonales por labores llamadas salideros que se hacen cada 20m (Ver plano 6), de esta forma se completa el circuito de ventilación de la mina y se obtienen salideros de carga y de personal, algunas de estas labores de preparación comunican a la mina Casablanca con la mina La Mejía como es el caso del bloque cisquera (zona de estudio). Dentro de las labores de preparación existen labores especiales para comunicar a dos o más mantos llamadas chimeneas, las cuales cumplen la misma función que los tambores de las diagonales, (ver plano 6).

En las labores de comunicación de la rozadora la cuelga entre el nivel inferior (mina Casablanca) y el nivel de cabecera (mina la Mejía) es de 110m dejando 20m de machón de protección para el nivel inferior por donde se hace el descargue del mineral, de esta forma quedan 90m efectivos para explotar hasta el nivel de cabecera. El sistema de explotación se enuncia a continuación. La forma de avance desde el nivel inferior hasta el nivel superior para el tajo de la rozadora es en el buzamiento, marcando las calles cada una 1,30m de ancho, se construyen como mínimo seis calles y como máximo nueve

3.2 MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN.

En la mina Casablanca se implementan actualmente dos tipos de métodos de explotación, el método de explotación por tajo y el método de explotación por ensanche de diagonales. Para el presente proyecto se hará énfasis en el método de explotación por tajo largo.

3.2.1 Método de explotación por tajo. Este método consiste en delimitar dos labores horizontales (niveles, guías sobreguías, etc.), unidas por una labor perpendicular que sigue el buzamiento del manto, en el caso particular de la zona

de estudio las labores son llamadas diagonales, como ya se describió en la preparación de la mina. Este método es implementado para la mecanización de la mina, así que se describirá con más detalle en el siguiente capítulo.

3.2.2 Método de explotación por ensanche de diagonales. Este método de explotación como ya se ha mencionado debe tener un desarrollo y una preparación previa, una vez realizadas estas labores el ensanche consiste en extraer todo el bloque preparado es decir los 80-120m de cuelga, esto incluye los salideros contruidos cada 20m el proceso de explotación consiste en empezar un encielado con dos personas llamadas corteros, los cuales empiezan a extraer el mineral desde la cota mayor hasta llegar al machón de protección que se deja aproximadamente de 10m. El sesgo que se deja para estas diagonales es de 55°- 60°, de esta forma se da al trabajador la guía para extraer de forma más rápida y sencilla el mineral (ver plano 6). Este hace su descargue sobre los tambores de acceso y posteriormente se extrae por medio de vagonetas hacia superficie.

4. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN CON ROZADORA EN TAJOS.

4.1. CARACTERÍSTICAS Y SELECCIÓN DEL EQUIPO.

La rozadora¹ es una máquina excavadora que posee un sistema de trabajo por medio de cabezas o cabezales rotatorias esto en los dos extremos del equipo (ver fotografía 1), provisto de herramientas de corte o arranque llamadas picas las cuales están construidas por aleaciones de carburo de tungsteno dentro de una matriz de acero sometida a tratamientos de endurecimiento, las cabezas o cabezales se encuentra montadas sobre un brazo articulado. Este equipo es sostenido y halado por dos cables en acero de una pulgada de diámetro. Uno de los cables presta el servicio de trabajo o movimiento del equipo en ascenso (maniobra de rozada) y para la bajada del equipo en donde se realiza la rpiada o limpieza de mineral sobrante en el tajo y posteriormente se guarda en el nicho de protección para el equipo; el otro cable es el cable de seguridad para detener el equipo y evitar que este pierda el control en el tajo cuando se efectúa cualquier tipo de maniobra distinta a la de extraer mineral, es decir cambio de vagonetes, paradas por falta o exceso de agua entre otras. Este equipo es una rozadora de derecha, puesto que los tambores de rozado se encuentran ubicadas a la derecha del chasis del equipo. La rozadora posee un sistema de tres velocidades para extracción, sin embargo y por razones de seguridad y para una mejor extracción del mineral solo se usan dos cambios o velocidades.

SISTEMA DE TRABAJO. Las rozadoras utilizan un Sistema de Ataque Puntual, es decir la potencia del motor de corte y el peso de la maquina se concentran sobre las puntas cortadoras, lo que facilita el arranque de rocas duras.

Existen dos sistemas de corte en las rozadoras, estos son:

¹ Cornejo A. Laureano. Las Máquinas Rozadoras en Túneles y Minas. Revista de obras publicas. Páginas 177-199. Marzo de 1985

A. Ripping. En este sistema el cabezal de corte gira de forma perpendicular al brazo soportante, mientras que las picas atacan a la roca poniendo a su favor el peso del equipo en su totalidad, lo cual facilita el rozado y aumenta el rendimiento de la excavación. Es decir la fuerza de corte es aplicado de manera frontal.

B. Milling. Este sistema permite que el cabezal de corte cilíndrico o troncocónico gire en línea con el eje del brazo soporte, así que la fuerza de corte es aplicada lateralmente, por esta razón no se aprovecha el peso total de la máquina, peso que actúa como fuerza de reacción, caso particular Mina Casablanca. Este tipo de corte en terrenos duros necesita emplear gatos de apoyo en los hastiales para absorber los momentos de giro que son producidos por el cabeza.

En la minería de carbón es más útil el sistema de corte *Milling*, puesto que al ser el cabezal más reducido en sus dimensiones, se permite emplear en capas más estrechas (baja potencia) de mineral, que puede ser arrancado sin afectar la roca encajante, sin embargo cuando se debe realizar alguna excavación en rocas duras se recomienda el empleo del sistema de corte *Ripping*.

Las picas son parte esencial y vital en la operación de corte o rozado, puesto que estos elementos se encuentran sometidos directamente al corte y resistencia del mineral como de la roca encajante, así que el desgaste es considerable, esto teniendo en cuenta que en algunas ocasiones la resistencia de la roca es mayor que la resistencia de penetración y corte de las picas, así que estas tienden a caerse con facilidad en estos casos. Así se puede establecer que para rocas blandas se usan picas planas o radiales, mientras para rocas duras las picas deben ser cónicas (rozadora Mina Casablanca). Generalmente el metal duro es una aleación de carburo, tungsteno y cobalto, debido a las características de desgaste y pérdidas de las mismas, las picas son factor determinante en el momento de elegir un equipo de estas características, puesto que se debe poner en consideración el costo de cada pica por m³ avanzado.

Dentro de las distintas formas de atacar un macizo rocoso con rozadoras, existe una técnica llamada *waterjets* o *chorro de agua*, método empleado en la Mina

Casablanca, en cual se utiliza agua para atacar la roca debilitarla un poco, disminuyendo el desgaste de las picas y controlando la producción de material particulado, además la funcionalidad del agua en la operación de rozado y siendo parte vital para el normal funcionamiento del equipo y de la explotación es refrigerar esta máquina, de esta manera el U.S BUREAU OF MINES ha establecido una máximo de 76 litros/minuto por tonelada de material rozado, en la mina Casablanca el consumo de agua es de 10-12 litros/minuto, con una presión nominal de 4Atm.

Como ya se ha mencionado en la elección de este equipo se debe tener mucho cuidado, puesto que cada equipo posee características distintas en cuanto a condiciones de trabajo y costos (directos e indirectos), además de la funcionalidad que debe presentar, de esta manera se mencionan algunos criterios en la selección de estos equipos. Así al elegir el equipo se tuvieron en cuenta varios parámetros y se realizó una comparación entre distintos tipos de rozadoras, esto por medio de la empresa española contratista INDEMINER, (ver cuadro 3).

De tal forma y según los criterios seleccionados “considerando las características de la mina, del macizo rocoso y del mismo equipo” la rozadora elegida fue la **POISK-2**. Estos equipos son relativamente fáciles en su manejo, el cual se realiza a través de cofres de mando que se encuentran en el nivel de cabecera, (ver fotografía 1), y en la maquina misma la cual se maneja a través de unas palancas de mando (manuales) que impiden que el equipo se desvíe (atraviase en el tajo) de su trayectoria (ver fotografía 2), como ya fue mencionado es importante mantener el suministro de agua para el equipo, se debe recordar que este equipo se escogió con su fuente de movimiento a través de energía y no neumáticamente, esto debido a que las maquinas neumáticas reducen su efectividad, además el consumo por m³ de aire es más costoso que el costo por kW consumido, con el montaje eléctrico se aumenta la eficiencia del equipo y su mantenimiento es menor, simplemente basta con realizar chequeos periódicos al cableado. En el cuadro 4 se muestra la comparación de cuatro (4) tipos de rozadoras con sus distintas características.

Fotografía 1. Cofres de mando, nivel cabecera.



Fuente: Datos de estudio.

Fotografía 2. Controles de mando manual de la rozadora.



Fuente: Datos de estudio.

Los diversos tipos de rozadoras existentes se acondicionan a terrenos con ciertas características geológicas, geotécnicas y topográficas, esto considerando que no todos los ambientes mineros bajo tierra se comportan de manera similar, más aún en el túnel Casablanca, en donde las condiciones geológicas son demasiado variables y microfallas o fallas satélites que solamente pueden ser apreciadas en el avance interno de la mina. Los datos descritos a continuación fueron realizados por los contratistas, encargados del montaje y puesta en marcha del equipo, sabiendo que ellos tienen una trayectoria en el manejo de estos equipos de más de 40 años.

Posteriormente se muestran las rozadoras H-1, TEMP-1 y POISK-2, estas dos últimas fueron los modelos que entraron en competencia por sus características, pero al final se eligió la POISK-2, puesto que puede trabajar con mantos de menor potencia, a pesar que tiene menor altura máxima al corte que sus competidoras.

Cuadro 3. Tipos de máquinas y características principales.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	TIPOS DE MAQUINAS			
	H-2	H-1	TEMP-1	<u>POISK-2</u>
Potencia en régimen permanente o potencia de cabeza	90Kw	120Kw	70Kw (38unih.)	2*22Kw
Número de motores	1	1	1	2
Refrigeración del motor	Agua	Agua	Aire	Agua
Longitud total	4,452m	6,182m	4,980m	4,290m
Altura	0,470m	0,590m	0,480m	0,280m
Número de tambores	2	2	2	2
Diámetro de los tambores	650 mm	650/800mm	650mm	330/400 mm
Longitud de los tambores	1000mm	1000/900mm	900mm	900mm
Altura máxima de corte	1202mm	1158/1233mm	1200mm	830mm
Profundidad máxima de corte al muro	151mm	185/260mm	30mm	30mm
Accionamiento	Manual	Manual	Manual	Manual
Peso	8,500Kg	9,500Kg	4,100Kg	3,910Kg
Resistencia a la compresión del carbón	650Kg/cm ²	800Kg/cm ²	250Kg/cm ²	300Kg/c m ²
Buzamiento de la capa	35-90°	35-90°	35°-80°	35-85°
Potencia de la capa	0,6-1,2m	0,8-1,2m	0,5-1,2m	0,36- 0,75m

Fuente: INDEMINER, Ledo, José Manuel, Ing. de Minas. España.

Imagen 3. Rozadora H-1



Fuente: datos de estudio Uniminas S.A.

Imagen 4. Rozadora TEMP-1.



Fuente: Datos de estudio Uniminas S.A.

Estos dos tipos de rozadoras fueron muy utilizados en países europeos como España, Rusia, Ucrania, Polonia, Alemania, entre otros. A continuación se muestra la rozadora POISK-2 utilizada en la mina Casablanca, es importante destacar que actualmente se encuentran en funcionamiento dos máquinas, una en el manto Cisquera objetivo del estudio y otra en el manto Rubí. Posteriormente se montarán dos máquinas más

Fotografía 3. Rozadora POISK-2.



Fuente: Datos de estudio.

4.2 EXPLOTACIÓN Y PRODUCCIÓN.

4.2.1 Método de explotación por tajo. Este método consiste en delimitar dos labores horizontales (niveles, guías sobreguías, etc.), unidas por una labor perpendicular que sigue el buzamiento del manto², en el caso particular de la zona de estudio las labores son llamadas diagonales, como ya se describió en la preparación de la mina.

De esta forma en la empresa UniMinas S.A. se ha construido un tajo en el manto cisquera para comunicar la mina La Mejía (NIVEL DE CABECERA) con la mina Casablanca (NIVEL INFERIOR O NIVEL PISO), estos niveles deben tener en su desarrollo una distancia no inferior a 50m de la calle de picada, esto en ambos niveles los cuales siguen por el rumbo del manto, con una cuelga de 110m y un buzamiento de 56°, (ver plano 6).

Se debe tener en cuenta que el piso del manto debe estar a 60cm de la pierna del arco que será afectada por la maniobra de rozado (esto en el nivel de cabeza o cabecera). Las poleas de re-envío deben estar ubicadas a no menos de 1,25m de la calle de picada y deben estar puestas de acuerdo al buzamiento del manto, para facilitar la maniobra de rozado y así evitar que el equipo se atravesase en el tajo, que sufra recalentamientos y poder disminuir el desgaste de los cables de trabajo y de seguridad al rozar con la superficie de trabajo.

Al finalizar la labor de rozada y cuando el equipo descienda hacia el nivel inferior se construye un nicho con las dimensiones del equipo 4,290m*1,20m*0,9m, con la finalidad de proteger al equipo de la caída de material suelto, evitar que este quede colgando y que en algún momento uno de los cables pueda fallar, además de facilitar las labores de posteo y tira, (ver plano 6). Este método de explotación mecanizado posee varias características especiales a tener en cuenta y que serán mencionadas en los siguientes ítems, dichas características corresponden al

²JOJOA MUÑOZ, JAIME WILLIAM. Módulo de Métodos de Explotación Bajo Tierra, capítulo 3, página 4, 2011. U.P.T.C. Ing. de Minas.

tratamiento del post-taller (espacio vacío), rendimientos, producción, posteo, tira, personal, ventilación, electricidad, suministro de agua, seguridad del tajo y del personal, sistemas de comunicación.

Los cofres de energización de la rozadora deben estar ubicados a 25m de la calle de explotación, cuando esta distancia es inferior a 10m, los cofres son corridos por medio de equipos llamados *winche*, los cuales en su funcionamiento y apariencia son como los malacates eléctricos, utilizados para la extracción de vagonetas en inclinados (ver fotografía 4). Al igual que los cofres, los cabrestantes estarán ubicados a 30m de la calle de explotación o picada, su corrimiento se hace al mismo tiempo que los cofres de energización.

Fotografía 4. Winche eléctrico.



Fuente: Datos de estudio.

4.2.2 Producción. Al emplear sistemas mecanizados en una explotación de minerales bajo tierra, se hacen con la finalidad de aumentar producción disminuyendo costos por mano de obra y mantenimiento del taller o zona de explotación.

Es así como la explotación con rozadora, en un buzamiento de 56° y un avance de 0,9m, se tienen los siguientes resultados:

$$P_{TT} = a(m) * e(m) * L_{tajo}(m) * \gamma(Ton/m^3)$$

Donde:

P_{TT} = producción total esperada del tajo

a = avance diario de la tarea

e = espesor del manto

γ = peso específico del carbón

Luego:

$$P_{TT} = 0.9m \cdot 0.7m \cdot 90m \cdot 1.4 \text{ Ton/m}^3$$

$$P_{TT} = 90.72 \text{ Ton}$$

De esta forma la producción diaria con la explotación mecanizada aumenta considerablemente, puesto que comunica al nivel superior con el nivel inferior en 2 horas y 30 minutos en promedio, que comparado con las labores de preparación es excelente, ya que como se mencionó en el capítulo 3 (preparación), los diagonales que comunican al nivel superior con el nivel inferior son construidos en 22 días aproximadamente, al realizar la explotación del sector preparado se hace en una semana aproximadamente, esto con avances de 17m por pareja en un turno.

El descargue como se ha mencionado en el método de explotación por ensanche de diagonales, consiste en descargar el mineral a una tecla, tetero o salidero, de esta forma el mineral cae de manera continua hacia las vagonetas de 2,0 ton (ver fotografía 5).

Fotografía 5. Tecla de descargue de mineral.



Fuente: Datos de estudio.

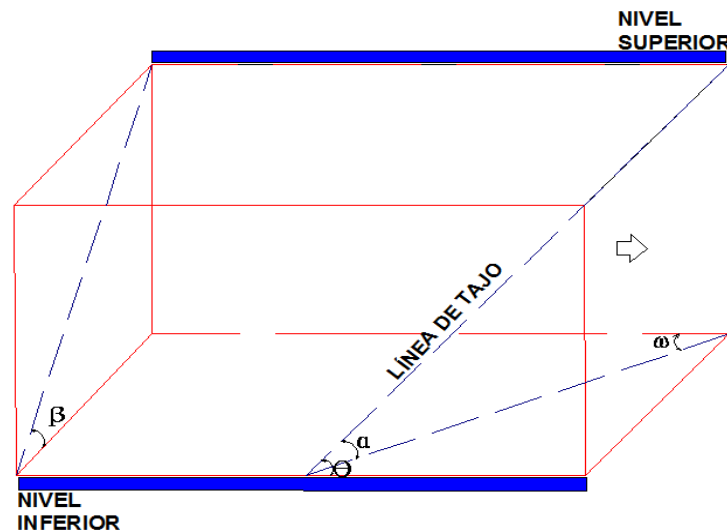
4.3 TIRA.

La tira consiste en suministrar la madera al tajo para la ejecución de la entibación. En este análisis de la mecanización con rozadora, la entibación forma parte y eje fundamental con el funcionamiento mismo de la rozadora, en la operación minera, por esta razón en el diseño y planeamiento minero se hace necesario realizar distintas evaluaciones sobre entibación, teniendo en cuenta el dimensionamiento geométrico del tajo, las características geomecánicas tanto de techo como de piso, entre otras características que son de vital importancia.

A continuación se realizan los estudios respectivos para establecer los lineamientos que se deben seguir en el diseño y operación del tajo mecanizado, es importante recalcar que por condiciones internas de la empresa, algunos cálculos solo tendrán su resultado, sin embargo se deja como información el autor de las teorías.

DIMENSIONAMIENTO GEOMÉTRICO DEL TAJO.

Figura 2. Dimensionamiento del tajo.



Fuente: UniMinas S.A.

De acuerdo al dimensionamiento realizado, se tiene el cálculo hecho con base a los ángulos presentes como se muestra en la figura 3, se tiene entonces:

θ = Ángulo de sesgo del tajo

β = Buzamiento de las capas

α = Inclinación del tajo

ω = Ángulo plano del rumbo (en el norte) del tajo – dirección vía proyección tajo

Sabiendo que $\beta=56^\circ$ y que por experiencia para los tajos semi-mecanizados, el ángulo de rodadura óptimo para el carbón es de 52° se realizan los cálculos y se replantean ángulo de rodadura del carbón y el ángulo de inclinación del taller se obtienen los siguientes resultados :

$$\text{Tg}(\alpha)=\text{Tg}(\beta)\text{Sen}(\omega)$$

$$\text{Cos}(\theta)=\text{Cos}(\alpha)\text{Cos}(\omega)$$

$$\text{Sen}(\alpha)=\text{Sen}(\beta)\text{Sen}(\theta)$$

$$\text{Tg}(\alpha)=\text{Tg}(\theta)\text{Sen}(\beta)\text{Cos}(\omega)$$

$$\text{Tg}(\omega)=\text{Tg}(\theta)\text{Cos}(\beta)$$

- Ángulo de rodadura del carbón= $54,9^\circ$
- Azimut del rumbo de la línea= $73,66^\circ$
- Ángulo de inclinación del taller (con la línea de buzamiento)= $9,3^\circ$
- Ángulo de sesgo= $80,7^\circ$

Con base a estos cálculos se realiza el replanteo para el ángulo de inclinación del taller, el plano sobre el buzamiento y el plano en dirección del tajo:

Cuadro 4. Replanteo para el dimensionamiento geométrico del tajo.

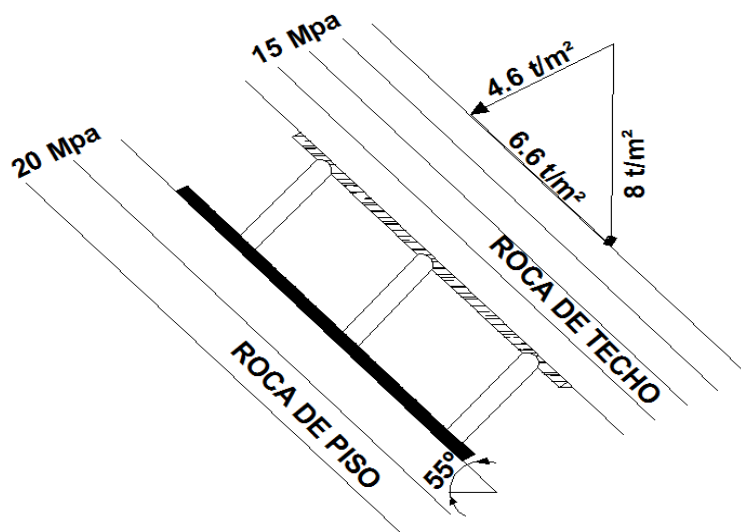
REPLANTEO DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL TALLER	
Rumbo del manto	N42°E
Buzamiento	56°SE
Cuelga entre niveles	109,8m \cong 110m
Adelanto superior del tajo	18m
Ángulo de sesgo del tajo	80,7°

Ángulo de rodadura del carbón, calculado para la rozadora ($\text{sen}\beta \cdot \text{sen}\theta$)	54,9°
PLANO SOBRE EL BUZAMIENTO	
Peso de la rozadora (w)	3,9Ton
Tensión aproximada sobre el cable tractor (Rw)	3,2Ton
Esfuerzo resultante sobre la roca (Rt)	1,9Ton
PLANO EN DIRECCION DEL TAJO	
Esfuerzo resultante sobre el carbón (Rc)	0,5Ton
Presión sobre el carbón	0,7Ton/m ² 0,1Kg/cm ²
Tensión sobre el cable tractor-tajo (Rt)	3,2Ton
Avance “ancho de tambor” de la rozadora	0,9m
Ángulo plano azimuth entre rumbo y línea del tajo	73,6°

Fuente: Datos departamento de Planeamiento Uniminas S.A. y de estudio.

Es necesario considerar que el replanteo, debe tener en cuenta las presiones de techo y piso ejercidas en el tajo, se debe hacer una descomposición de esfuerzos del comportamiento del macizo sobre el sostenimiento, como se muestra en la figura 3. Para el cálculo se tiene en cuenta el ángulo de rodadura del carbón $54,9^{\circ} \cong 55^{\circ}$, con una presión de techo de 15Mpa y de piso de 20Mpa, se muestra la forma de instalación de las escaleras que constan de 3 segmentos, separados cada 0,9m aproximadamente, la presión de piso tiende a ser mayor que la de techo, lo que indica que las condiciones para generar un asentamiento gradual de techo es sencillo de controlar.

Figura 3. Comportamiento de esfuerzos sobre el sostenimiento.



Fuente: UniMinas S.A.

En el diseño del sostenimiento se consideran las teorías de *SISKA* y *TERZAGHI*, además se realiza un análisis mecánico y la conversión de esfuerzos para finalmente obtener el diseño del sostenimiento, a continuación se hace mención de los cálculos y teorías expuestas:

TEORIA DE SISKA: Toma la fórmula de techo inmediato y la modifica, introduciendo tres coeficientes a_1 , a_2 y a_3 , variables que se describen a continuación:

Coeficiente de calidad del techo a_1 : se pueden establecer tres categorías de techo:

- Categoría 1: Techos que hunden de forma natural al retirar la entibación.
- Categoría 2: Techos que hunden mal y necesitan explosivos para iniciar hundimiento.
- Categoría 3: Techos que no hunden y necesitan explosivos de forma sistemática.

Teniendo estas tres categorías de techo, *Siska*³ establece una clasificación para el coeficiente de calidad del techo inmediato, (ver cuadro 5).

Cuadro 5. *Coeficiente de calidad del techo a_1* .

CLASIFICACIÓN	a_1
1	1
2	$1 + \frac{0,5 + 2,5M}{L_s}$
3	$1 + \frac{0,5 + 0,8M}{L_s}$

Fuente: Datos departamento de Planeamiento Uniminas S.A.

Donde:

M: Potencia de la capa (espesor del manto) (m)

L_s : Ancho entibado del taller (m)

Coeficiente de tratamiento del techo inmediato a_2 : el coeficiente a_2 tiene cuatro valores, en donde se considera si se produce hundimiento o si se hace necesario hacer relleno, en este caso y teniendo en cuenta cual fue el método escogido, se selecciona el valor más adecuado en cada caso:

³JUAREZ FERRARAS, RAFAEL. Sostenimiento de talleres en minas de carbón con entibación hidráulica individual, capítulo 3, páginas 27-29, 2003.

Cuadro 6. *Coeficiente de tratamiento del techo inmediato a_2*

POST-TALLER	a_2
Hundimiento de techo	1,00
Relleno manual	0,75
Relleno neumático	0,50
Relleno hidráulico	0,12

Fuente: Datos departamento de Planeamiento Uniminas S.A.

Coeficiente de autoapoyo del techo inmediato a_3 : se tiene en cuenta la categoría del techo, la litología del terreno y el tratamiento del post-taller y se expresa en el cuadro 7:

Cuadro 7. *Coeficiente de autoapoyo del techo inmediato a_3*

CATEGORÍA DEL TECHO INMEDIATO	LITOLOGÍA	TRATAMIENTO DEL POST-TALLER	a_3
1	Lutita	Hundimiento	0,7
1	Lutita	Relleno	0,40
2	Lutita/Arenisca	Hundimiento	0,50
2	Arenisca	Relleno	0,35
3	Lutita/Arenisca	Hundimiento	0,40
3	Arenisca	Relleno	0,35

Fuente: Datos departamento de Planeamiento Uniminas S.A.

Una vez conocidos los valores a_1 , a_2 , a_3 y la presión de techo obtenida $P=15\text{Ton/m}^2$, se estima la presión de techo sobre la entibación según Siska así:

$$P_s = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot P$$

Donde:

P_s : Presión de techo sobre la entibación según Siska (Ton/m²).

P : Presión de techo sobre la entibación según formula de techo inmediato (Ton/m²).

Al realizar los cálculos correspondientes se obtuvieron los siguientes resultados:

- Distancia del derrumbe a la primera línea de tacos (m): 0,5
- Distancia entre calles de personal y trabajo o frontón (m): 2,7
- Total separación entre derrumbe y frontón (m): 4,0
- Ángulo de rotura de techo: 40°
- Factor de hundimiento: 2,1
- Factor relleno-hundimiento: 1
- Factor apoyo techo hundimiento: 0,75
- Presión de techo inmediato (Ton/m²): 15

Con base en estos cálculos se procede a realizar el análisis mecánico como sigue:

- Inclinación de las capas: 55°
- Espesor del manto de carbón: 0,40m
- Factor de expansión según derrumbe: 1,4
- Espesor del techo inmediato falso (m): 1,75
- Espesor techo afectado por el zuncho cisquera (m): 1,75
- Espesor estratigráfico afectado por flexión (m): 1
- Densidad de la roca de techo (Ton/m²): 1,8
- Presión del techo inmediato (Ton/m²): 8,1

Como paso a seguir en el diseño y establecimiento del sostenimiento a emplear se tiene el calcula por Terzaghi: Su teoría se fundamente en:

1. Teoría del arqueo y deslizamiento de bloques sobre el techo del túnel y que generan un área en forma de domo parabólico que descansa sobre las paredes laterales del túnel.
2. Clasificación cualitativa de los macizos.
3. Constante de Terzaghi (K_p) para cálculo de presión del túnel.
4. Altura de la bóveda de carga (H_p) que genera la presión.

Elementos de cálculo:

1. Clasificación cualitativa del área donde se encuentra el túnel:
 - a. Roca inalterada, sana, intacta.
 - b. Roca estratificada.
 - c. Roca medianamente fisurada.
 - d. Roca agrietada.
 - e. Roca triturada.
 - f. Roca comprimida.
 - g. Roca expansiva.
2. Constante de Terzaghi (K_p)

Cuadro 8. Constante de Terzaghi para cálculo de presión minera.

Características de estabilidad del túnel	Constante de Terzaghi (K_p)	Altura de la bóveda de carga (H_p)
1. Paredes del túnel en roca intacta afecta la estratificación y geometría del túnel.	0,1 a 0,5	$K_p(B)$
2. Paredes similares a las anteriores pero afectados por varios sistemas de		

discontinuidades y que no producen mayores desprendimientos de roca	0,5 a 1,0	$K_P(B)$
3. Situación similar a la anterior pero produce desprendimiento de bloques de roca de las paredes del túnel	0,6 a 1,0	$K_P(B+H)$

Fuente: Jojoa M., Jaime W., modulo sostenimiento de minas, pág. 75. Febrero 2007.

3. Ancho y altura media del túnel.
4. Ángulo de fricción interna de las rocas de las paredes o ángulo de buzamiento (de 30° a 40° según tipo específico de roca).
5. Peso específico de la roca de techo y de la pared lateral (de 2,1 a 2,5 según tipo específico de roca).
6. Separación entre elementos de entibación (de 0,5m a 1,5m).

Al realizar los cálculos correspondientes se evalúa un esfuerzo sobre el techo inmediato de 10,9Ton/m².

Una vez hechos los cálculos de presión minera en el techo se realiza la conversión de esfuerzos se obtienen los siguientes resultados:

- Esfuerzo perpendicular a los estratos (Ton/m²): 4,6
- Esfuerzo paralelo a las capas-corrimientos de techo (Ton/m²): 6,6
- Esfuerzo sobre el sostenimiento (Ton/m²): 8,1

Por último se realiza el diseño del sostenimiento estableciendo los siguientes resultados:

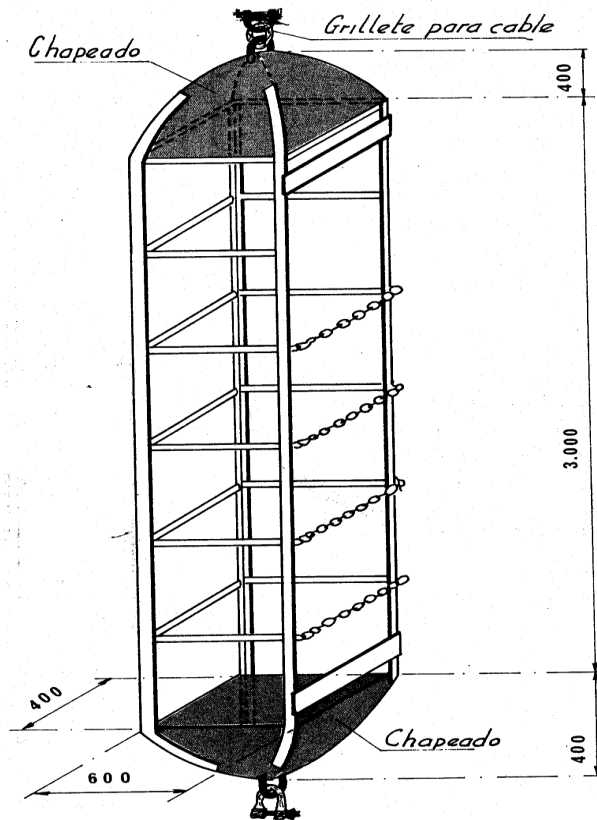
- Presión de techo inmediato (Ton/m²): 4,6
- Separación entre escaleras (m): 0,9

- Separación entre tacos (m): 0,9
- Esfuerzo permisible de flexión de la madera (Ton/m²). 1500
- Diámetro de la palanca (m): 0,13
- Esfuerzo cortante permitido (Ton/m²): 300
- Esfuerzo cortante calculado (Ton/m²): 223
- Esfuerzo de compresión de las fibras de la madera máximo permitido (Ton/m²): 850
- Esfuerzo de compresión de las fibras de la madera calculado (Ton/m²): 394
- Esfuerzo a la compresión del piso rocoso permitido (Ton/m²): 1000
- Esfuerzo a la compresión del piso rocoso “esfuerzo para evitar la penetración en la roca” calculado (Ton/m²): 306

Una vez calculada la madera necesaria para la tira (puesta de madera a lo largo del tajo), se establecen los turnos y se definen funciones. Así para el caso de la tira se disponen de cuatro trabajadores para subir la madera desde el nivel inferior, hasta el nivel cabecera a través de la canoa (ver figura 4) y posteriormente distribuir la madera a lo largo de tajo para el turno de posteo. La canoa debe ser sometida a revisión cada quince días dado que su constante fricción con el piso produce desgaste en la base y en el cable que hala de ella.

Este trabajo se realiza con la mayor precaución posible, dado que el techo inmediato en la calle de trabajo se encuentra expuesto a debilitamiento al entrar en contacto con el aire y puesto que el material de respaldo no es confiable, se corre el riesgo que durante la actividad de la puesta de madera se desprenda un bloque. Para esto es necesario que los trabajadores realicen el proceso de desabombe del techo a medida que se baja la madera.

Figura 4. Canoa.



Fuente: Datos de estudio Uniminas S.A.

4.4 POSTEO.

En el **turno B2 o turno de posteo**, se hace necesario contar con seis trabajadores, que se encuentran en el tajo, que se ubican por parejas en distancias de 30m aproximadamente una de la otra, se instalan seis escaleras de 2,50m por cada posteador (maderero), para un promedio de 15m por posteador, las escaleras consisten en líneas de tacos con cabecera puestos a una distancia de 0,9m en promedio, de esta forma cada escalera consta de 3 secciones, se debe considerar que al ser el avance tan rápido la geología es distinta con cada rozada y las condiciones para el sostenimiento pueden variar, tanto en espesor (aumento en la sección de trabajo debido a caída de carbón de techo), aparición de fallas, entre otras, alterando la distancia entre tacos y escaleras.

El posteo debe realizarse inmediatamente al término del turno de tira, en ocasiones se hacen simultáneamente cuando el techo se encuentra afectado de manera considerable debido al gran diaclasamiento de la zona de trabajo, de no realizarse el trabajo de manera adecuada y segura, el tajo puede derrumbarse. En determinado punto se hace necesario instalar canastas (ver fotografía 6) para lograr realizar de forma adecuada el derrumbe dirigido y a su vez permitir el normal trabajo en las calles de rozada, trabajo y personal. Estas canastas se instalan de acuerdo a las necesidades de la calle en tratamiento, generalmente se instalan al lado de la calle del derrumbe, estas canastas son perdibles y constan de cuatro secciones de 1m*1m.

Fotografía 6. Canastas para sostenimiento



Fuente: Datos de estudio.

4.5 TRATAMIENTO AL POST-TALLER.

En el **turno C o turno de relleno**, se trabaja con dos hombres que instalan el tablado o cajón de relleno (ver fotografía 7) a una distancia no mínima de seis calles (cada calle de 1,30m de ancho), este cajón de relleno controla el espacio vacío de la siguiente forma: se hace relleno con material estéril proveniente de frentes de los niveles superiores de la mina La Mejía; en segundo lugar en este cajón se hace el asentamiento gradual del techo debido a las presiones y el

espacio vacío, tal como sucede con las labores comunes en las que se realizan (descuñes) o derrumbes de sectores ya explotados.

Fotografía 7. Instalación del cajón para tratamiento del post-taller.



Fuente: Datos de estudio.

4.6 PERSONAL.

El personal necesario para la explotación por tajo mecanizado con rozadora se divide en tres turnos como se ha mencionado en el capítulo 1 y se muestra su distribución, con horarios y actividades en el cuadro 9. Se puede establecer que en toda la operación de rozado se hacen necesarios 19 hombres, además se debe tener en cuenta que cada turno tiene un supervisor directo.

Cuadro 9. Turnos de personal para la rozadora.

TURNOS ESPECIALES ROZADORA			CANTIDAD
TURNOS	HORARIO	ACTIVIDAD	HOMBRES/TURNO
A1	5:00am-12:00pm	Rozar, crear nicho de seguridad para el equipo	7
B1	12:00pm-4:00pm	Tira (suministro de madera para el tajo)	4
B2	4:00pm-11pm	Posteo	6
C	11pm-5:00am	Relleno del cajón	2

Fuente: Datos departamento de Planeamiento Uniminas S.A.

En **el turno de rozada o A1** se dividen los 7 hombres de acuerdo a funciones específicas que deben cumplir, luego se tiene:

NIVEL CABECERA: Se tiene dos hombres, los cuales deben realizar la función de operar los cofres de energización para el funcionamiento de la rozadora, suministrar agua hacia el equipo y para el nivel de cabecera, desengrapar al subir los cables y la manguera de agua para evitar que estos se enreden, posteriormente al bajar el equipo hacia el nicho de seguridad, deben volver a poner las grapas de seguridad para evitar que tanto los cables como la manguera se atraviesen en el tajo.

TAJO: Durante toda la operación de rozada dos hombres deben estar al lado del equipo uno en cada extremo para maniobrar la máquina, además de comunicar cualquier anomalía que se presente al control de los cofres, posteriormente y cuando falten 60cm para llegar al tercer nivel deben parar la máquina y terminar la comunicación con martillo picador, esto con el fin de no tumbar el arco del nivel cabecera. Al bajar la maquina construirán el nicho para el equipo, también con martillo neumático.

NIVEL INFERIOR: Se necesitan tres trabajadores para el descargue del mineral, hacia las vagonetas de 2,0ton, dos de los trabajadores se ubican en la tecla de descargue y controlan el llenado de las vagonetas, el tercer hombre opera la locomotora halando las vagonetas hacia superficie.

4.7 RENDIMIENTOS.

Es importante saber que cada método de explotación posee ventajas y desventajas, pero la finalidad de cada uno es obtener rendimientos óptimos de acuerdo a la inversión realizada por parte de la empresa. De este modo en el presente proyecto se realizan los cálculos de rendimientos³, comparando la extracción con martillo picador y la extracción con rozadora, es decir método de explotación por tajo corto semi-mecanizado y método de explotación por tajo corto mecanizado, se tiene entonces las siguientes relaciones de rendimientos (Rend.):

$$\text{Rend. Picador} = \text{Ra} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{N. H. T.}} \right) = \frac{\text{toneladas picadas o arrancadas}}{\text{número de picadores turno}}$$

$$= \frac{90,72 \text{ Ton}}{5 \text{ H.T.}}$$

$$\text{Rend. Tajo} = \text{Rt} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{N. H. T.}} \right) = \frac{\text{toneladas picadas o arrancadas}}{\text{número de picadores turno}(\text{picadores} + \text{todo personal del tajo})}$$

$$= \frac{90,72 \text{ Ton}}{7 \text{ H.T.}}$$

$$\text{Rend. Explotación} = \text{Re} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{N. H. T.}} \right) = \frac{\text{toneladas picadas o arrancadas}}{\text{N. H. T.}(\text{picadores} + \text{todo personal del tajo} + \text{operarios de tolva, etc})}$$

$$= \frac{90,72 \text{ Ton}}{19 \text{ H.T.}}$$

Luego se tiene que los rendimientos obtenidos la mecanización son:

Ra= 18,14 Ton / H.T.

Rt= 12,96Ton / H.T.

Re= 4,77 Ton / H.T.

4.8 CICLOS DE TRANSPORTE.

El descargue y transporte del mineral extraído se hace en vagonetas de 1.8Ton haladas por locomotoras T80, se realizan dos descargues de 20 vagonetas, es decir, 36 toneladas por ciclo y por último se deja un tercer descargue con 10 vagonetas para 18 toneladas, sin embargo siempre se dejan opcionales dos vagonetas más en el tercer ciclo.

Cada ciclo empieza a contabilizarse desde el arranque en el patio de descargue de la locomotora hacia la tecla de descargue que son 10 minutos en total, el descargue de las veinte vagonetas se hace en 23 minutos normalmente y el de las 10 vagonetas del tercer ciclo se hace en 11,5 minutos. Para la extracción de la carga hacia el patio se tarda cerca de 23 minutos. El total del ciclo es de 56 minutos, sin embargo estos datos de tiempos se ven alterados en ciertos momentos debido al atascamiento de la carga en la tecla de descargue, ya que al

emplear agua en el proceso de rozado esta por gravedad descende por el tajo hacia la tecla, formando en las láminas costras de mineral que impiden el normal rodamiento del mismo. Se flexibiliza también en una cantidad no máxima de 10 minutos en caso de un descarrilamiento de alguna vagoneta.

4.9 VENTILACIÓN.

La ventilación del tajo está directamente influenciada por la ventilación existente en las minas Casablanca y La Mejía, generándose un circuito de ventilación entre estas dos (ver plano 7). Sin embargo se debe establecer y conocer que este tajo necesariamente está obligado a tener ventilación mecanizada puesto que son labores que se encuentran a profundidad (cerca de 1400m desde la bocamina Casablanca), para esto se cuenta con un ventilador principal de chorro marca ZITRÓN, (ver fotografía 8) el cual posee las siguientes características:

- Modelo: JZR 14-86/6
- Caudal (m^3/s): 58,4
- Velocidad del chorro (m/s): 38.0
- Empuje teórico: 2660
- Empuje nominal: 2554
- Potencia absorbida(Kw): 72.1
- Potencia instalada (Kw): 75.0
- Nivel sonoro a 10m dB(A): 75

El ventilador a chorro tiene como principio de funcionamiento⁴, el principio de la transmisión de cantidad de movimiento. Una parte relativamente pequeña, de la totalidad del aire que circula por la sección del túnel es aspirada por los ventiladores de chorro e impulsada a continuación con una energía cinemática elevada. Esta porción comunica un impulso al resto del aire, que se desplaza también en dirección longitudinal hacia la boca de salida del túnel.

⁴ZITRÓN, Manual sistemas de ventilación para túneles, Ventiladores de chorro. 2011.

Fotografía 8. Ventilador principal a chorro ZITRÓN.



Fuente: Datos de estudio.

Este ventilador a su vez es ayudado por ventiladores axiales que se encuentran distribuidos al interior de la mina, esto debido a la profundidad en la que se encuentran las labores y la cantidad de material particulado presente en todas las labores de la mina. Para el tajo de la rozadora se emplean ventiladores axiales aspirantes, tanto en el nivel inferior como en el nivel de cabecera, pero a medida que avanza el tajo por las labores de rozada, se hace insuficiente el suministro de aire de los ventiladores axiales así que estos últimos serán reemplazados en el nivel de cabecera “tercer nivel”, por un ventilador **WL-SIGMA**, que está compuesto de un sólo rotor central; su funcionamiento consiste en la formación de diferentes presiones detrás y delante de éste durante el tiempo de los giros. Con este ventilador se optimiza el circuito de ventilación, calidad y cantidad de aire presente en la mina, especialmente en el tajo.

El rotor coloca el aire en un movimiento circular, después el sistema de aletas del órgano conductor dirige el chorro de aire al flujo a lo largo del eje del conducto. Las características de este ventilador se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Especificaciones ventilador WL-SIGMA.

WL-SIGMA 900/B (de dos marchas)	
Tensión del flujo	Primera marcha: 300 m ³ /min (máx. 400 m ³ /min) Segunda marcha: 600 m ³ /min (máx. 800 m ³ /min)
Aumento de presión	Primera marcha: 750 Pa (máx. 1000 Pa), Segunda marcha: 3525 Pa (máx. 5500 Pa)
Potencia del motor	12,6 kW/55 kW
Tensión de alimentación	440V
Tipo de trabajo	Continuo
Diámetro de lona de ventilación	600÷1200 mm
Temperatura de trabajo	Hasta 40 °C
Subida de temperatura del aire	~1÷2 °C
Nivel del ruido	~85 dBA
Peso	1450 Kg

Fuente: Departamento de planeamiento Uniminas S.A.

4.10 ELECTRICIDAD Y SUMINISTRO DE AGUA.

Inicialmente para la instalación del tendido eléctrico se debe tener en cuenta las distancias, tensión y corriente que necesarias para la energización de los equipos en los frentes de trabajo. Para cumplir con estas condiciones se instala un transformador elevador de 500kVA que transforma la tensión de superficie de 440V y la eleva a 4160V (ver fotografía 9). Este tipo de tensión se hace debido a que se trabajan a grandes distancias bajo tierra y es necesario garantizar la energía no solo para la rozadora, si no, para toda la mina, donde se incluyen metanómetros, electrobombas, entre otros equipos. (ver plano 7)

Fotografía 9. Subestación de 500kVA en superficie



Fuente: Datos de estudio.

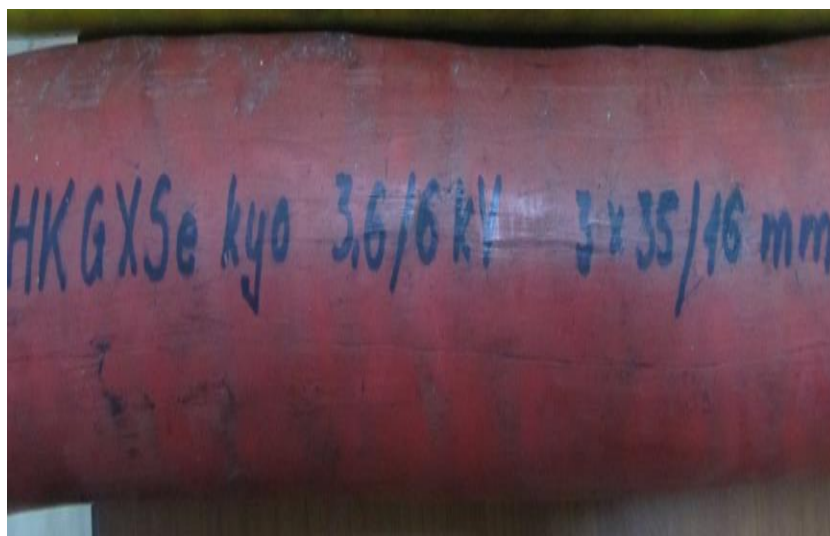
Para el transporte de esta tensión se debe utilizar un cable con las siguientes especificaciones **HKGX SeKyn 3.6/6KV 3X35/16mm** polaco de características especiales el cual está certificado para trabajos en minería subterránea, este tipo de cable está instalado desde la superficie hasta la abscisa 1100 del túnel principal en esta abscisa se tiene un empalme con una caja de paso **SOLDEXEL tipo NEMA 4x** de 40X40cm con sus respectiva prensa de cables certificados, (ver fotografía 10).

A la salida de este cofre se tiene una tensión de 4160V con un cable armado **NEXANS 5 KV 3X170+1X6 AWG**, llegando hasta la abscisa 1300 (ubicado sobre la cruzada 0), donde esta construido un nicho para resguardar el transformador polaco tipo MAR-PM de 400KVA con una tensión de entrada de 4160V y de salida de 440V, (ver fotografía 11).

Fotografía 10. Caja de paso polaca y cable de tensión.



Cable de tensión



Fuente: Datos de estudio.

Fotografía 11. Transformador polaco tipo MAR-PM de 400 KVA



Fuente: Datos de estudio.

A la salida del transformador se maneja una tensión de 440V con un cable armado DS1N 1KV 3X95mm hasta la abscisa 70 del nivel de cisquera en donde se realiza la instalación de una caja de paso **SOLDEXEL tipo NEMA 7** de 40X30cm para el empalme con el cable armado polaco YHKGX Sekyn ,6/1KV 3X120/35mm (ver fotografía 12). Este cable se extiende por cerca de 220m desde la abscisa 70 hasta llegar al nivel de cabecera.

Este cable sube por el diagonal de suministros que tiene 120mts de longitud el cual se encuentra en la abscisa 170 del nivel de cisquera, cuando el cable se encuentra en el nivel de cabecera, se hace otra conexión a una caja **SOLDEXEL tipo NEMA 7** de 100X70cm en el cual en su interior tiene un barraje de repartición que suministra energía eléctrica al cofre de la rozadora y al cable que va dirigido hacia el ventilador, son alimentados con una tensión de 440V, dentro de este cofre se encuentran dos interruptores de protección para controlar estos dos equipos independientemente. (Ver fotografía 13).

Fotografía 12. Caja y cable abscisa70.



Caja soldex abscisa 70, nivel cisquera.



Cable armado polaco YHKGX Sekyn 0,6/1KV 3X120/35mm.
Fuente: Datos de estudio.

Fotografía 13. Caja SOLDEX tipo NEMA 7, tercer nivel o nivel de cabecera.



Fuente: Datos de estudio.

El cofre de la rozadora IKK150 se energiza por medio de un cable de 1KVA 3X25+3M+1X2, 5P a 440V.

Fotografía 14. Cofre de la rozadora.



Fuente: Datos de estudio.

Este cofre energiza el cabrestante mediante el cable 1KVA 3X25+3M+1X2, 5P a 440V que tiene un motor de 15 KW, y a la rozadora mediante un cable de las mismas características 1KVA 3X25+3M+1X2,5P en la cual se energizan los dos motores de 22 KW cada uno, (ver cuadro 4).

Fotografía 15. Cabrestante de la rozadora.



Fuente: Datos de estudio.

SUMINISTRO DE AGUA. Para garantizar el suministro de agua para el tajo (tanto para perforación en el nivel de cabecera como para la rozadora), se hizo la instalación de una electrobomba de 20 HP, esta electrobomba es controlada por un presostato y un sistema que se denomina *wáter flow* el cual permite controlar la presión de la red garantizando un consumo controlado y constante. Como ya fue establecido anteriormente el agua suministrada para el tajo cumple las funciones de ayudar en el debilitamiento del mineral pero principalmente controla la emisión de material particulado y refrigera la rozadora. La entrada de agua desde superficie es a través de mangueras de tres pulgadas, al momento de hacer el empalme en el cruce del nivel cisquera y la cruzada 0, la salida de agua hacia el tajo y los frentes de los niveles de cabecera e inferior se tiene manguera de una pulgada y media, con la misma longitud que el cableado eléctrico.

Fotografía 16. Bomba de 20Hp.



Fuente: Datos de estudio.

4.11 SEGURIDAD DEL TAJO Y DEL PERSONAL.

Como ya se ha descrito en parámetros anteriores como en la tira el ángulo de sesgo se ha replanteado para optimizar la seguridad del personal que se encuentra al interior del tajo. Este tajo se protege con un machón de 20m en el nivel inferior, se construye un nicho de seguridad con las dimensiones del equipo 4,290m*1,20m*0,9m, en el tajo y con la finalidad de proteger las poleas de reenvío la rozadora llega a una distancia de 60cm antes de llegar al piso de nivel de cabecera, estos 60cm serán extraídos de forma manual con martillo neumático.

En cuanto al personal como primera medida se tiene un supervisor por cada turno empleado en ciclo de rozada, los trabajadores en el turno A1 que se encuentran en el tajo tienen como sistema de seguridad la comunicación por genéfono, cualquier anomalía debe ser informada por este medio. En el momento de realizar el ataque al machón de 60cm en el piso del nivel cabecera, el trabajador debe estar sujeto a un arnés (ver fotografía 17) para evitar un accidente por caída del trabajador.

Fotografía 17. Seguridad del trabajador con arnés.



Fuente: Datos de estudio.

En el turno B1 los trabajadores deben subir la madera con la ayuda de la canoa por el diagonal de suministros y la madera se baja con la ayuda de manilas a lo largo del tajo en la calle de trabajo.

En el turno B2 la seguridad empieza con la puesta de la madera en forma ascendente, con las condiciones establecidas de distancia promedio entre tacos y escaleras, se debe recordar que la madera ya ha sido distribuida en el turno B1 a lo largo del tajo.

4.12 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS NIVELES (CABECERA E INFERIOR) Y EL TAJO.

La comunicación en la labor de rozada es parte fundamental, es así como en el tajo en el todos los turnos se tiene un genéfono esta comunicación se encuentra establecida con el nivel cabecera (ver fotografía 18), en este nivel (cabecera) se tiene otro genéfono que comunica con el nivel inferior y este a superficie, los llamados o comunicación son constantes, se informan anomalías técnicas, paros en el proceso de rozado por cambio de vagonetas, atravesamiento del equipo,

entre otras. Además se tienen sistemas de comunicación lumínica con movimientos de las lámparas así:

- Movimiento de arriba hacia abajo: adelante, prosiga.
- Movimiento de derecha a izquierda: acérquese.
- Movimiento circular: deténgase.

Fotografía 18. Comunicación por genéfono al interior del tajo.



Fuente: Datos de estudio.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las dificultades que se generan en la adquisición de equipos, accesorios, mano de obra calificada, se pudo demostrar que la mecanización en la minería colombiana “considerando distintos tipos de adversidades como las ya descritas y otras como geología de la zona en donde se encuentran mantos con buzamientos superiores a 45°, con espesores de baja potencia, factores económicos y demás”, aplicando conocimientos básicos y fundamentados en estudios puntuales de las zonas de explotación como geología y geomecánica, con métodos de explotación bien definidos y llevados a campo de manera precisa acorde a lo descrito en los estudios aprobados por los entes fiscalizadores de la actividad minera; es posible y real generando utilidades, al disminuir la mano de obra, aumento en el rendimiento por hombre turno, disminución en el consumo eléctrico, disminución de accidentes laborales. La empresa Uniminas S.A. ha dado un gran paso en el avance tecnológico en el país al hacer funcional y rentable un proyecto de la envergadura e impacto que genera la mecanización de un tajo sobre muro en mantos de baja potencia y buzamientos superiores a 45°.

La geología de la zona se ha descrito de forma tal que no se deja de lado ningún dato ni regional, ni local, ni estructural, dado que todas las variables debieron ser incluidas para el análisis del equipo más idóneo y funcional para el proyecto dadas todas las condiciones geológicas de la zona. Se considera y como parámetros fundamentales la potencia del manto (0,40 a 1,0m), el buzamiento (56°SE), la separación entre mantos, el tipo de respaldos “piso, techo y paredes laterales”, una vez establecidas todas las características se decidió que el manto más óptimo para implementar la mecanización era el manto cisquera.

Para la identificación y selección del equipo se hicieron varias comparaciones con equipos alternos se consideraron diversas variables, como la potencia del manto (0,40 a 1,0m) y su buzamiento (56°SE), la resistencia a la compresión del carbón (300Kg/cm²), peso del equipo (3910Kg), altura del equipo (0,280m), sistema de alimentación (eléctrico, neumático) y de refrigeración del motor (agua), entre

muchas variables más que se pueden apreciar en el cuadro 3, una vez identificadas todas las variables se estableció que el equipo más adecuado para las condiciones de la zona de estudio y las necesidades de la empresa es la rozadora POISK-2.

Para el funcionamiento de la rozadora se trabaja con tajo corto se diseñan diagonales con una cuelga entre niveles (nivel inferior “túnel Casablanca” y nivel superior “mina La Mejía”) de 110m, de los cuales 90m son efectivos en el tajo y 20m sirven de machón de protección para el nivel inferior y nicho para la rozadora cuando finaliza la maniobra de rozado, buzamiento de 56°SE, el análisis para el dimensionamiento arrojó los resultados expuestos en el cuadro 5 *replanteo para el dimensionamiento geométrico del tajo*, las diagonales se comunican a través de labores llamadas chimeneas o salideros, las diagonales son marcadas cada 15m en el nivel inferior y son comunicadas siguiendo el buzamiento del manto cada 12m (salideros). La comunicación con el nivel inferior y el nivel superior se hacen en el sentido del buzamiento y el de la comunicación entre diagonales se realiza en el rumbo (chimeneas o salideros).

Una vez identificadas las características del manto identificadas en los cuadros 5 (replanteo para el dimensionamiento geométrico del tajo), cuadro 7 (coeficiente de tratamiento del techo inmediato a_2), cuadro 8 (coeficiente de autoapoyo del techo inmediato a_3) y los datos obtenidos en las páginas 35 a 38, se define entonces que el sostenimiento se hace por medio de tacos que conforman escaleras (tres tacos o secciones), separados cada 0.9m en promedio (este valor varía de 0,8 a 0,9m, según condiciones de techo y piso), con un diámetro de palanca de 0,13m. A su vez las calles de personal y las que quedan libres para el derrumbe dirigido serán intervenidas con canastas dispuestas de acuerdo a las necesidades del tajo por condiciones de techo y piso, estas canastas serán perdibles y son secciones de cuatro elementos.

Para la implementación del equipo se consideraron diversas características eléctricas, de ventilación, transporte, comunicación personal de trabajo, turnos de trabajo, sostenimiento, método de explotación, suministro de agua, condiciones geológicas y topográficas. Es así, como en la parte eléctrica se instala un transformador elevador de 500kVA que transforma la tensión de superficie de 440V y la eleva a 4160V como se evidencia en la fotografía 9, de las páginas 48 a 54 se realiza toda la descripción eléctrica para la rozadora y la mina; Para garantizar el suministro de agua para el tajo “tanto para perforación en el nivel de cabecera como para la rozadora” se hizo la instalación de una electrobomba de 20HP, esta electrobomba es controlada por un presostato y un sistema que se denomina *wáter flow* el cual permite controlar la presión de la red garantizando un consumo controlado y constante, se tienen mangueras de tres pulgadas desde superficie y se hace reducción a una pulgada y media; la ventilación es implementada con la ayuda de ventilador a chorro Zitron modelo JZR 14-86/6 con un caudal de $58.4\text{m}^3/\text{s}$; para el sistema de comunicación se tiene un genéfono esta comunicación se encuentra establecida con el nivel cabecera (ver fotografía 18), en este nivel (cabecera) se tiene otro genéfono que comunica con el nivel inferior y este a superficie, los llamados o comunicación son constantes, se informan anomalías técnicas, paros en el proceso de rozado por cambio de vagonetas, atravesamiento del equipo, entre otras, además se posee el sistema de comunicación lumínica, como se describe en la pagina 57.

El tratamiento dado al espacio vacío o post-taller, es el de derrumbe dirigido dadas las condiciones propias del techo y los análisis mencionados en los cuadros 5, 7, 8 y los resultados obtenidos en las páginas 37 a 40. Se construyen cajones a lo largo del tajo y se encuentran separados a una distancia no inferior de seis calles, es decir 7,8m, sabiendo que cada calle tiene una distancia de 1,3m.

Una vez escogido el equipo “rozadora POISK-2”, conociendo características geológicas del manto, datos geomecánicos, método de explotación, tratamiento

del tajo, tratamiento al post-taller, sostenimiento, se realiza el cálculo del personal a laborar en el tajo de mecanización y se tienen los resultados descrito en el cuadro 10 turnos de personal para la rozadora, con un total de 19 hombres/ciclo distribuidos en los siguientes turnos: Turno A1 7 hombres/turno; Turno B1 4hombres/turno; Turno B2 6 hombres/turno y Turno C2 hombres/turno. Los rendimientos arrojados para esta mecanización con rozadora son los siguientes: rendimiento picador (R_a)=18,14Ton/H.T.; rendimiento tajo (R_t)=12,96Ton/H.T.; rendimiento explotación (R_e)=4,77Ton/H.T.

BIBLIOGRAFÍA.

UNIMINAS S.A. Departamento de planeamiento minero. 2011-2012.

I

NDEMINER, Ledo, José Manuel. Ing. de Minas, representante legal. España. 2011-2012.

Cornejo A., Laureano. Las Máquinas Rozadoras en Túneles y Minas. Revista de obras públicas, páginas 177-199. Marzo de 1985.

Pérez R., J.L. El método de precorte mecánico (Premill (R)), Ingeopress, páginas 62-72. 1999

Juárez Ferraras, Rafael. Sostenimiento de talleres en minas de carbón con entibación hidráulica individual, capítulo 3, páginas 27-29. 2003.

ZITRÓN, empresa líder en sistemas de ventilación. Manual sistemas de ventilación para túneles, ventiladores de chorro. 2011.

Jojoa M., JAIME W. Módulo de Métodos de Explotación Bajo Tierra. 2011.

Jojoa M., Jaime W. Módulo sostenimiento de minas. Febrero 2007

ANEXOS